

Élaboration d'un module de raisonnement adaptable dédié aux risques liés à  
l'utilisation d'une cuisinière par des personnes âgées

par

Camille Goujeau

mémoire présenté au Département d'informatique  
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

FACULTÉ DES SCIENCES  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mars 2017

Le 27 mars 2017

*le jury a accepté le mémoire de Monsieur Camille Goujeau dans sa version finale.*

Membres du jury

Professeur Bessam Abdulrazak  
Directeur de recherche  
Département Informatique

Professeur Laurent Billonnet  
Membre externe  
Université de Limoges, France

Professeur Hélène Pigot  
Président-rapporteur Département Informatique

# Sommaire

Le vieillissement de la personne implique généralement un déclin des fonctions cognitives et physiques pouvant apporter des risques dans la vie de tous les jours. Les personnes âgées tendent à vouloir rester vivre chez elles le plus longtemps possible, afin de conserver un sentiment d'indépendance. Cependant, cette volonté peut nécessiter des aménagements au domicile de la personne, afin d'assurer sa sécurité et rassurer son entourage. Cette sécurité passe notamment par la cuisine, qui est un lieu à haut risque. Un incendie peut facilement se déclarer si la personne âgée n'est pas assez attentive à ce qu'elle cuisine, tout comme la personne peut se brûler ou être intoxiquée par les émanations de fumées.

Pour pallier à cette problématique de l'utilisation de la cuisinière par une personne âgée, nous proposons Inovus, un système permettant la prévention des risques majeurs liés à l'utilisation de la cuisinière, ainsi que des méthodes d'interventions pour avertir et protéger la personne de ces risques. Inovus regroupe un ensemble de capteurs surveillant des paramètres critiques liés à l'utilisation d'une cuisinière, dans le but de prévenir efficacement les trois risques majeurs identifiés, à savoir les incendies, les brûlures et les intoxications. Pour ces trois risques, un niveau de dangerosité est défini grâce à un module de raisonnement et un ensemble de règles linguistiques. En se basant sur ces niveaux de risque, Inovus va déterminer quelles sont les interventions à effectuer auprès de la personne pour l'avertir des risques et la protéger le plus efficacement possible. Ces interventions sont déterminées grâce à module de raisonnement qui évalue le niveau de risque auquel la personne est confrontée et décide des interventions les plus appropriées.

Les interventions développées sont sensibles au contexte et à l'activité de la personne. En fonction de la position de la personne dans son domicile et du niveau de risque déterminé, les interventions s'effectueront au niveau de la cuisinière ou bien dans le reste du domicile. Plusieurs méthodes d'interventions sont proposées afin de s'assurer que la personne soit efficacement avertie des risques. Des interventions d'ordre lumineuses et sonores servent

principalement à avertir la personne des risques. De plus des interventions sur les appareils intelligents de la personne sont également proposées afin de l'informer de la situation.

Mots clés : cuisinière – incendie – intoxication – brûlure – module de raisonnement – logique floue

# Remerciements

Tout au long de ma maîtrise, amis, collègues, professeurs et famille m'ont aidé et soutenu dans mon travail.

Je souhaite tout d'abord remercier Laurent Billonnet, responsable du Master Auton'Hom-e à l'université de Limoges, sans qui cette double formation n'aurait pas été possible.

Je souhaite également remercier Bessam Abdulrazak, mon directeur de recherche, pour le soutien qu'il a apporté à mon projet de recherche.

Je remercie également Hélène Pigot, professeure à l'Université de Sherbrooke, pour le soutien apporté et la gestion de la codiplomation.

Je souhaite également remercier Chantal Proulx, coordinatrice académique du département d'informatique de la faculté de sciences de l'Université de Sherbrooke, pour l'aide qu'elle m'a apportée sur le fonctionnement des universités québécoises.

Un grand merci à Rami Yared, membre de mon laboratoire et collègue pour le projet Inovus, pour toute l'aide et le soutien qu'il m'a apporté tout au long de mon séjour d'étude.

Enfin, je souhaite remercier mes amis de licence professionnelle Domotique et Autonomie des Personnes et du Master Auton'Hom-e, ainsi que les membres du pôle domotique et santé de Guéret, pour le soutien apporté tout au long de l'année, ainsi que les professeurs et les intervenants de l'université de Limoges.

# Table des matières

Sommaire .....	ii
Remerciements.....	v
Table des matières .....	vi
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures .....	x
Introduction.....	1
Mise en contexte .....	1
Vieillessement et perte d'autonomie .....	1
Maintien à domicile et maisons intelligentes.....	3
La cuisine, un lieu de tous les jours à risque.....	4
Le projet Inovus .....	6
Définition du projet de recherche .....	7
Travail effectué précédemment.....	9
Apport au projet Inovus .....	11
Apport scientifique.....	12
Méthodologie .....	12
Plan du document.....	13
Chapitre 1 Revue de littérature .....	15
1.1 Identification des risques.....	15
1.1.1 Risque d'incendie.....	15
1.1.2 Risque d'intoxication .....	21
1.1.3 Risque de brûlure .....	22
1.2 Étude des solutions de prise de décision .....	24
1.2.1 Présentation des solutions .....	24

1.3	Interventions auprès de la personne .....	29
1.3.1	Interventions au niveau de la cuisinière.....	29
1.3.2	Interventions d'ordre plus générale .....	31
1.4	Acceptabilité de la technologie .....	36
1.5	Conclusion.....	39
<b>Chapitre 2 Modules d'évaluation des risques de la cuisinière et d'intervention</b>		<b>41</b>
2.1	Définition des niveaux de risques .....	41
2.2	Choix de la logique floue .....	45
2.3	Plateforme logicielle .....	48
2.3.1	Module de gestion des capteurs .....	49
2.3.2	Module de raisonnement.....	52
2.3.3	Module de gestion des interventions.....	61
2.4	Propositions d'interventions.....	62
2.4.1	Interventions d'ordre visuel .....	63
2.4.2	Interventions d'ordre sonore .....	68
2.4.3	Autres types d'interventions .....	71
2.4.4	Taxonomie des interventions .....	75
2.4.5	Protocole d'intervention.....	77
2.5	Conclusion.....	78
<b>Chapitre 3 Expérimentations .....</b>		<b>81</b>
3.1	Validation de la chaîne d'acquisition .....	81
3.1.1	Présentation des conditions expérimentales.....	83
3.1.2	Présentation des expérimentations.....	87
3.1.3	Présentation des résultats .....	87
3.2	Validation du module de raisonnement.....	97
3.2.1	Définition des seuils de risque .....	97
3.2.2	Définition des règles linguistiques.....	102
3.2.3	Discussion sur les règles linguistiques.....	102
3.2.4	Présentation des résultats .....	103

3.3	Validation de l'ensemble du système Inovus .....	108
3.4	Résumé des expérimentations .....	108
Conclusion .....		110
	Résumé du travail effectué.....	110
	Contributions originales.....	111
	Travail restant à effectuer .....	112
Annexe A Présentation matérielle du prototype.....		115
A.1	Besoins de la plateforme .....	115
A.2	Matériel utilisé.....	115
A.2.1	Raspberry Pi .....	116
A.2.2	Capteurs utilisés.....	117
A.2.3	Utilisation de bandes LED.....	118
Annexe B Étude de l'acceptabilité du système Inovus.....		120
B.1	Discussions avec le public ciblé.....	120
B.2	Évaluations sans personnes âgées .....	121
B.3	Expérimentations en présence de personnes âgées .....	121
B.4	Tests chez l'habitant.....	123
B.5	Conclusion.....	124
Annexe C Règles linguistiques du module de raisonnement .....		125
Bibliographie.....		128



## Liste des tableaux

Tableau 1 - Fonctions membres des variables d'entrée du module de raisonnement .....	58
Tableau 2 – Fonctions membres des variables de sortie du module de raisonnement .....	60
Tableau 3 - Taxonomie des interventions proposées pour Inovus.....	76
Tableau 4 - Protocole d'intervention en fonction du niveau de risque.....	78
Tableau 5 - Évènements lors de la cuisson des pâtes.....	91
Tableau 6 – Présentation des seuils définis.....	101

# Liste des figures

Figure 1 - Incendies à domicile liés à la cuisine aux USA entre 2009 et 2013 .....	5
Figure 2 - Incendies en fonction de l'équipement de cuisine incriminé aux USA, 2009-2013..	6
Figure 3 - Exemple de fonctionnement de la technologie Smart Flame .....	31
Figure 4 - Représentation schématique du fonctionnement d'Inovus .....	49
Figure 5 – Vue d’ensemble de l’installation des capteurs du système Inovus.....	50
Figure 6 - Représentation schématique d'un système de logique floue .....	53
Figure 7 - Ensemble flou de la variable T_hotte du module de raisonnement d'Inovus.....	54
Figure 8 – Ensemble flou de la variable Risque du module de raisonnement d’Inovus.....	54
Figure 9 - Résultat de différentes méthodes de defuzzification.....	56
Figure 10 - Entrées/sorties du module de raisonnement d’Inovus.....	57
Figure 11 - Schéma de l'utilisation d'une bande LED sur la cuisinière .....	65
Figure 12 - Schéma de l'utilisation de projecteurs LED autour d'un rond de cuisson .....	65
Figure 13 - Cuisinière utilisée pour nos expérimentations .....	84
Figure 14 - Vue rapprochée des capteurs latéraux en fonctionnement .....	85
Figure 15 - Vue rapprochée des capteurs de la hotte en fonctionnement .....	86
Figure 16 - Evolution des températures et de l'humidité pour la cuisson à vide .....	88
Figure 17 - Évolution de la concentration en VOC et alcool pour la cuisson d'huile.....	89
Figure 18 - Évolution des températures et de l'humidité pour la cuisson d'huile .....	90
Figure 19 - Évolution des températures et de l'humidité lors de la cuisson de pâtes.....	92
Figure 20 - Évolution de la concentration en gaz VOC et alcool lors de la cuisson de pâtes .	93
Figure 21 - Évolution de la distance lors de la cuisson d'huile.....	94
Figure 22 - Évolution de la distance lors de la cuisson de pâtes.....	95
Figure 23 - Évolution de la distance lors de la présence d'une casserole froide .....	96
Figure 24 – Niveaux de risques pour la cuisson de pâtes .....	104
Figure 25 – Niveaux de risque pour la cuisson d’huile .....	106

# **Introduction**

## **Mise en contexte**

### **Vieillesse et perte d'autonomie**

Le vieillissement naturel est un effet inévitable dans la vie de toute personne. Selon les personnes et l'environnement côtoyé par celles-ci, ce vieillissement peut être plus ou moins rapide selon les cas. Ce vieillissement implique une altération des facultés physiques et cognitives de la personne de façon progressive, au fur et à mesure du vieillissement. Au fil de l'évolution de ces troubles, la vie quotidienne d'une personne âgée devient de plus en plus difficile. En effet, l'altération des facultés physiques peut l'empêcher d'effectuer des activités qu'elle pratiquait auparavant, et les troubles cognitifs apportent encore plus problèmes pour la personne, jusqu'au point où un placement en institution peut être nécessaire pour protéger la personne et soulager ses proches.

Les troubles cognitifs en particulier peuvent avoir un impact très important sur la vie quotidienne de la personne, au point de la mettre en danger. Ces troubles altèrent les facultés intellectuelles, comme la mémoire, la compréhension, la capacité de jugement, de raisonnement, l'attention ou encore la concentration. Selon le niveau de sévérité de ces altérations, on parle de démence. Cette démence peut être engendrée par de très nombreux facteurs et maladies, et peuvent éventuellement mettre en danger la personne concernée. Parmi les maladies étant à l'origine de la démence, on peut citer la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, ou encore la démence fronto-temporale.

La démence fronto-temporale et la maladie d'Alzheimer sont tous deux des syndromes neurodégénératifs, qui affectent donc les cellules nerveuses. Ces maladies ont une progression relativement lente, et affectent les fonctions exécutives de la personne. Parmi les fonctions

exécutives de la personne, on peut citer l'inhibition, la préparation, l'alternance, la mémoire de travail et la division de l'attention [1].

Ces troubles cognitifs apparaissent durant le vieillissement, mais les maladies à l'origine de ces démences accentuent lesdits troubles et en amènent de nouveaux. La maladie d'Alzheimer est une maladie relativement courante : environ 5,2 millions de personnes ayant plus de 65 ans ont cette maladie aux États-Unis [2]. Concernant la démence fronto-temporale, cette maladie est un peu moins connue. C'est une maladie bien plus rare que la maladie d'Alzheimer, touchant une population relativement jeune. C'est en effet le type de démence la plus courante chez les personnes de moins de 60 ans, et elle représente 20% de l'ensemble des démences dépistées [3].

Ces deux maladies, avec le reste des maladies affectant les fonctions cognitives et le vieillissement, rendent la pratique d'activités de la vie quotidienne (ou AVQ) difficile, voire impossible ou dangereuse pour certaines d'entre elles. Pour pallier à cela, des aides humaines sont souvent nécessaires afin d'aider la personne à conserver une bonne hygiène de vie et un confort de vie décent. Ces aidants peuvent venir de la famille de la personne âgée, ou bien peuvent être prodigués par des professionnels. Dans les cas plus graves, où l'état de santé de la personne est trop dégradé pour qu'elle reste chez elle, ou par fatigue des aidants naturels, un placement en institution peut être envisagé.

Néanmoins, le placement en institution coûte cher, tant au niveau humain que financier, et est souvent effectué contre la volonté de la personne concernée. En effet, aider un proche en situation de perte d'autonomie, ou ayant des troubles cognitifs, représente une charge considérable de travail, et peut engendrer des séquelles pour ces aidants dits naturels, comme l'ont montré de nombreuses études [4] [5].

## **Maintien à domicile et maisons intelligentes**

En raison du vieillissement de la population observé un peu partout dans le monde, il sera prochainement nécessaire de trouver des solutions économiques et simples afin de fournir à toutes les personnes ayant besoin d'aide un accès à des soins de qualité à moindre coût, ainsi que d'assurer leur sécurité. Au Canada, les personnes de 65 ans et plus représenteront entre 23% et 25% de la population totale en 2036, et entre 24% et 28% en 2061 [6]–[8]. Au Japon, la population de 65 ans et plus représente environ 25% de la population du pays en 2013, et grimpera à 40% en 2050, représentant ainsi le plus haut ratio au monde [9]. Aux États-Unis, le nombre de personnes âgées est aussi en hausse : en 2010, 40,3 millions de personnes étaient âgées de 65 ans ou plus, représentant 13% de la population. Les projections indiquent qu'en 2050, les personnes ayant 65 ans ou plus représenteront 20,9% de la population du pays [10]. En ce qui concerne l'Europe, 20% de la population aura 65 ans ou plus en 2025, avec une forte augmentation des personnes ayant 80 ans ou plus.

Aux États-Unis, 40% des femmes et 19% des hommes ayant 65 ans ou plus vivent seuls et n'ont aucune aide à domicile pour les activités de la vie quotidienne, prodiguer des soins ou assister la personne dans l'entretien du domicile [11]. Ainsi, le maintien à domicile de ces personnes est de plus en plus préconisé, quitte à devoir investir dans des solutions techniques et technologiques afin d'adapter le domicile aux besoins de la personne. Si des solutions d'ordre techniques existent depuis longtemps pour pallier la perte d'autonomie physique, les récents développements des technologies de l'information et de la communication (TIC) et de la domotique permettent de nouvelles avancées pour lutter contre la perte d'autonomie et les troubles d'ordre cognitifs. C'est ainsi que le développement de ces technologies a permis l'émergence des maisons dites intelligentes. Ces maisons intelligentes apportent de nombreuses innovations dans divers domaines, dont le maintien à domicile pour les personnes en perte d'autonomie.

Selon *Chan M. et al.*, une maison intelligente est un lieu de résidence équipé de technologies permettant la surveillance de ses habitants et/ou favorisant le maintien de l'autonomie et de conditions de vie décente [12]. Les maisons intelligentes consistent généralement à installer

divers capteurs dans l'ensemble du domicile, ainsi que dans certains cas des actionneurs, afin d'être en mesure de détecter si l'habitant nécessite une assistance ou bien s'il se trouve dans une situation de risque, voire même d'effectuer certaines actions à sa place pour lui simplifier une partie de sa vie quotidienne. En ce qui concerne les capteurs, ceux-ci peuvent observer l'environnement et les actions de la personne au sein du domicile, ou bien encore être des capteurs biomédicaux, observant l'état de santé de la personne. Cet ensemble de capteurs et d'actionneurs nécessite également un support de communication ainsi qu'un module dit "intelligent" (d'où la notion de maison intelligente), qui récupère et traite les données des capteurs afin de définir si la personne a besoin d'une assistance quelconque. Généralement, un accès à distance est aussi disponible, afin que le personnel médical ou les proches puissent suivre le bon fonctionnement de la maison intelligente, ainsi que l'état de santé de l'habitant. Ces "packs de capteurs" sont de plus en plus répandus, et leur efficacité est prouvée, notamment dans la prévention des chutes [13].

## **La cuisine, un lieu de tous les jours à risque**

L'un des lieux les plus à risques du domicile est probablement la cuisine. Dans cette pièce se trouvent de nombreux appareils pouvant être dangereux pour la personne si mal utilisés ou défectueux. Un appareil tel qu'une cuisinière dispose de nombreux éléments permettant la cuisson d'aliments, et qui de ce fait génèrent une très haute température pouvant engendrer brûlures et incendies. Pourtant, se nourrir fait partie des activités de la vie quotidienne (AVQ) les plus importantes, et la livraison de repas n'est pas une solution forcément abordable pour les personnes âgées. Le fait de préparer son propre repas peut être vu comme une AVQ, une occasion pour la personne de stimuler ses fonctions cognitives. Par ailleurs, certaines études tendent à montrer un lien entre le fait de préparer ses propres repas et vivre plus longtemps [14].

Certains dispositifs existent d'ores et déjà pour la prévention de certains risques et plus particulièrement le risque d'incendie. Dans de nombreux pays, des détecteurs de fumées sont obligatoires dans toute cuisine. Si ces capteurs sont relativement efficaces pour détecter les risques d'incendies. Lors de l'émission de gaz et de fumée, ces capteurs génèrent une alarme

sonore (ou envoient une notification sur un téléphone intelligent pour les plus récents) dans le but de prévenir un habitant que le risque d'incendie est fort et qu'une action est requise. Le risque posé par ce type de capteurs vient du fait que ce sont des capteurs d'avertissements, qui n'agissent en rien. Si les habitants se retrouvent dans l'incapacité d'agir pour réduire le risque, celui-ci ne fera que s'aggraver. Par ailleurs, ces dispositifs disposent d'une autonomie conséquente (parfois jusqu'à 10 ans), cette longue autonomie peut amener l'habitant à oublier ce détecteur, et donc à oublier de changer les piles de celui-ci, le mettant dans une position de risque si un incendie se déclare.

Néanmoins, le risque d'incendie au domicile est toujours présent, particulièrement dans la cuisine. En effet, sur la période 2009-2013 aux États-Unis, 45% des incendies à domicile étaient liés à un équipement de cuisine. Parmi ces 45% d'incendies, 61% étaient liés aux plaques chauffantes. Il devient donc évident que la cuisinière est un instrument très dangereux s'il n'est pas correctement utilisé avec une certaine vigilance. Au total, 162400 incendies liés à un équipement de cuisine eurent lieu dans la période 2009-2013 aux États-Unis [15]. Les figures 1 et 2 montrent le lien entre la cuisine et les incendies à domicile aux États-Unis pendant la période 2009-2013.

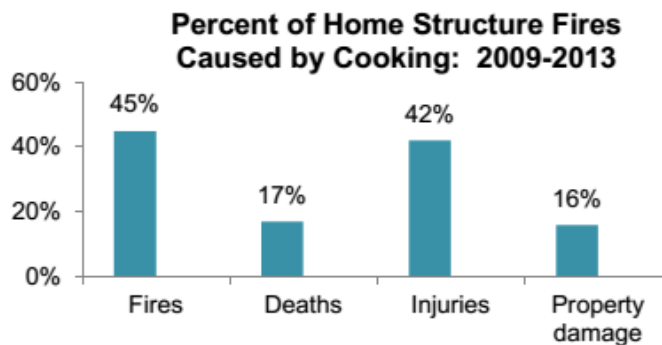


Figure 1 - Incendies à domicile liés à la cuisine aux USA entre 2009 et 2013

### Home Cooking Equipment Fires by Equipment Involved in Ignition: 2009-2013

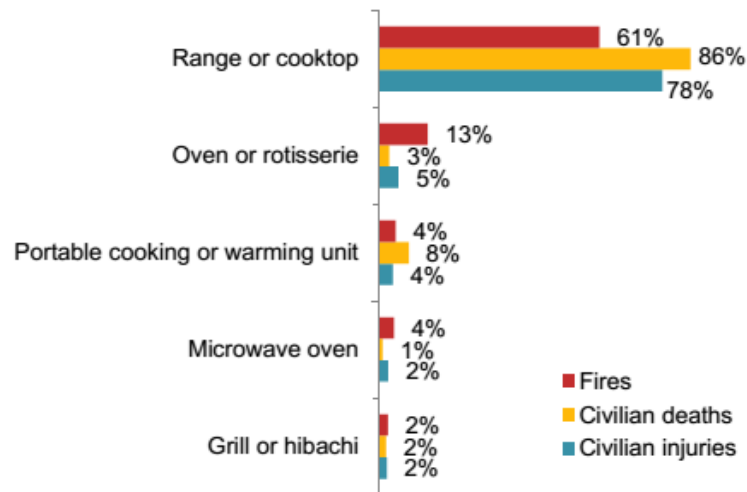


Figure 2 - Incendies en fonction de l'équipement de cuisine incriminé aux USA, 2009-2013

Il semble donc important que les maisons intelligentes prennent en compte les risques liés à la cuisine afin d'être capables d'assurer à la personne un confort et une qualité de vie décente à son domicile et ainsi assurer sa sécurité, peu importe sa condition de santé.

## Le projet Inovus

Le projet Inovus est un projet qui est actuellement en cours de développement à l'Université de Sherbrooke. Ce projet a pour but de fournir un ensemble d'outils nécessaires pour la prévention des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière à domicile, pour des personnes en perte d'autonomie. Plusieurs étudiants ont déjà travaillé sur ce projet, notamment sur les paramètres à surveiller et l'identification des risques afin d'identifier quels risques sont encourus par l'utilisateur de la cuisinière.

Trois risques majeurs ont déjà été identifiés. Premièrement, il y a le risque de brûlure, que ce soit par contact avec un objet chaud (comme une plaque chauffante ou un ustensile chauffé), ou par projection (de liquide chaud, comme de l'huile ou de l'eau bouillante). Ensuite, il y a le risque d'incendie, par combustion d'un aliment, d'un liquide comme de l'huile ou d'un



matériau inflammable (vêtement, torchon, papier ...). Enfin, il y a le risque d'intoxication par inhalation de gaz toxique, qui est fortement lié au risque d'incendie.

Pour chacun de ces risques, les paramètres à surveiller furent déterminés, ce qui a permis d'établir le choix des capteurs à utiliser. Six capteurs différents sont donc utilisés dans le projet Inovus : un capteur de température, un capteur de distance, un capteur d'humidité, et trois capteurs de gaz. Si certains capteurs sont utilisés pour déterminer le niveau de dangerosité pour chaque risque identifié, certains capteurs ne sont utiles que pour un seul risque.

Les données récupérées par les capteurs sont traitées par un module d'évaluation des risques et de décision d'intervention. Ce module de raisonnement évalue le niveau de risque auquel la personne est confrontée ainsi que le risque en soi. En fonction de cette évaluation, une intervention peut être décidée par le module afin de prévenir la personne du risque et la protéger. Ce module est directement intégré dans la plate-forme du système Inovus, et repose sur des technologies venant du domaine de l'intelligence artificielle. C'est le principal apport au projet qui va permettre de disposer d'un prototype fonctionnel d'identification des risques et de décision des interventions.

## **Définition du projet de recherche**

La cuisinière est un dispositif qui peut être dangereux à utiliser. Des mesures sont prises pour réduire le risque lié à son utilisation, mais les solutions actuelles ne prennent pas en compte tous les risques potentiels et restent limitées. En effet la grande majorité de ces solutions se confinent à surveiller le risque d'incendie, par le biais de détecteurs d'incendies. Cependant, ces détecteurs ne font que détecter, et n'empêchent pas l'incendie de se produire.

À ce stade du projet Inovus, l'ensemble des capteurs a déjà été sélectionné et testé, et des expérimentations ont d'ores et déjà eu lieu dans des conditions réelles. Cependant, la plate-forme matérielle utilisée jusque-là pose divers problèmes, notamment des limitations au niveau des possibilités de programmation. La résolution de ces problèmes est cruciale pour le bon

fonctionnement du système dans son ensemble, et cela est résolu par le passage à une nouvelle plate-forme matérielle.

Ensuite, si le sens apporté à ce projet reste le même, le système Inovus en lui-même ne faisait jusque-là principalement que collecter les données issues des capteurs. Le traitement et l'analyse de ces données n'étaient encore qu'à un stade embryonnaire. Afin que le système puisse prévenir efficacement les risques liés à l'utilisation de la cuisinière, il est indispensable de faire évoluer le système en améliorant sa capacité d'analyse de la situation et de prise de décision, afin d'assurer la sécurité de la personne et de son habitat. Par ailleurs, la prise de décision, et donc les procédures d'interventions, n'ont été que succinctement évoquées dans les précédents travaux sur le projet Inovus. C'est pourtant l'un des éléments les plus importants pour la sécurité de la personne en perte d'autonomie.

Ainsi, au vu du travail déjà effectué sur le projet Inovus, le projet de recherche présenté dans ce mémoire pourrait être défini comme suit : **Elaboration d'un module de raisonnement adaptable aux risques liés à l'utilisation d'une cuisinière et de décision d'intervention pour des personnes en perte d'autonomie.**

Plusieurs objectifs doivent être atteints afin de finaliser ce projet. Il faut premièrement élaborer le module de raisonnement, qui sert à l'évaluation des risques. Ce module implique l'utilisation de technologies venant du domaine de l'intelligence artificielle. En effet, la définition des risques encourus repose sur les données reçues par les capteurs, qui sont nombreuses et peuvent varier fortement d'une mesure à l'autre.

Le module de raisonnement sert donc à modéliser les risques existants lors de l'utilisation de la cuisinière, permettant ainsi de valider l'approche proposée par le projet Inovus. Cette modélisation permet également de valider les procédures d'intervention, qui doivent être établies pour chaque risque. Ces procédures décrivent la marche à suivre par le système lorsqu'un niveau de danger élevé met en risque la personne utilisatrice de la cuisinière et son environnement. Comme il y a plusieurs risques identifiés, ces procédures seront probablement différentes pour chacun d'entre eux.

## **Travail effectué précédemment**

Le projet Inovus est un travail ayant débuté en 2008. Plusieurs personnes ont déjà travaillé sur ce sujet. Deux étudiants en Maîtrise ont consacré leurs travaux de recherche à ce projet, fournissant les documents les plus complets sur Inovus [16], [17].

Le mémoire de Thomas Tessier, en particulier, détaille la partie matérielle du projet, où le système reposait sur l'utilisation d'un microcontrôleur MSP430. Le document présente également les divers capteurs utilisés (et qui le sont toujours, à l'exception d'un qui a été remplacé, comme indiqué en Annexe A), en justifiant leur choix. Pour chaque capteur, les protocoles de tests ont été définis, afin de valider leur fonctionnement. Par ailleurs, Thomas Tessier avait également présenté un protocole d'expérimentation afin de valider l'ensemble de la plateforme Inovus. Ses expérimentations lui ont permis de créer des algorithmes permettant de définir des niveaux de risques, algorithmes qui serviront plus tard pour la conception du module de raisonnement. Le changement de plateforme que nous avons effectué nous a contraint à reproduire les expérimentations afin de nous assurer l'obtention de résultats similaires.

Si des algorithmes étaient présents pour la détermination des niveaux de risques, ceux-ci étaient loin d'être suffisants pour assurer une intervention permettant d'informer et protéger l'utilisateur et ses proches en fonction du risque. Deux étudiants stagiaires ont reproduit les expérimentations de Thomas Tessier. Ils ont également conçu une ébauche de module de raisonnement, basé sur la logique floue, censé déterminer le niveau de risque, programmé sur Matlab [18]. En effet, à ce stade du projet, le microcontrôleur MSP430 et sa plateforme ne servaient qu'à transmettre les données des capteurs à un ordinateur utilisant Matlab, qui traitait les données avec le module de raisonnement. Cependant, le module de raisonnement n'était pas au point, avec de nombreuses incohérences, notamment avec des échelles de valeurs n'étant pas correctes. Ce module de raisonnement a néanmoins servi de base pour le module présenté dans ce document, qui a subi de très nombreuses améliorations.

De ces travaux, deux articles ont été publiés, résumant le travail jusque-là accompli, en se focalisant sur le choix des capteurs, les expérimentations effectuées et le module de raisonnement [19], [20].

En ce qui concerne le matériel, des cartes dédiées au projet furent conçues par un ancien étudiant, Vincent Rhéaume. Deux types de cartes furent conçues, toujours sur la base d'un microcontrôleur MSP430 :

- La carte Nodeus, qui est la partie « intelligente » du système. Elle est composée d'un microcontrôleur MSP430 qui traite toutes les données reçues par les capteurs. Elle est dotée de divers ports d'entrées/sorties, tels qu'un port nappe pour recevoir les informations des capteurs, et d'un port USB pour l'alimentation en énergie. Il existe également un port spécifique UART afin de programmer le microcontrôleur.
- La carte Inovus, faisant office d'interface entre la carte Nodeus et les capteurs. Celle-ci est reliée à la carte Nodeus par un câble de type nappe. Les capteurs ont tous leurs ports dédiés, et aucun ajout de composant externe à la carte (mis à part les capteurs) n'est nécessaire. L'utilisation de ports dédiés évite également de devoir effectuer des soudures supplémentaires sur la carte.

En plus de ces deux cartes, il était possible d'ajouter d'autres modules, dont notamment un module permettant une communication en réseau via un port Ethernet. Celui-ci communique avec la carte Nodeus grâce au protocole SPI, et est relativement simple d'utilisation. Cette architecture matérielle fut conçue dans le but d'être modulaire. Chaque carte ferait office de nœud, d'où le nom Nodeus. Il était prévu que ces cartes, en raison de leur taille réduite, puissent être installées à l'arrière de la cuisinière, au niveau de la prise de courant. Cela aurait été un gain de place et un atout pour la discrétion du système.

Des logiciels de test des cartes furent également développés. Ceux-ci testaient les différentes fonctionnalités offertes par le microcontrôleur MSP430.

## **Apport au projet Inovus**

Le projet Inovus est d'ores et déjà bien avancé. La partie matérielle était déjà prête au redémarrage du projet, et des essais furent déjà effectués. Cependant, un changement de plateforme a été effectué, afin de disposer d'une plus grande flexibilité quant aux possibilités du système. Cette nouvelle plateforme repose sur un Raspberry Pi dans sa première version (modèle B), qui dispose d'une puissance de calcul bien supérieure au microcontrôleur MSP430 utilisé précédemment. Outre la puissance de calcul supplémentaire, le Raspberry Pi offre la flexibilité des systèmes GNU/Linux, permettant de gérer facilement de gérer les périphériques. Il est de plus possible de programmer dans une très grande variété de langages, comme C/C++, Python ou Java, et de nombreux autres, contrairement au MSP430 qui était limité au langage C.

L'utilisation de cette nouvelle plateforme dans le projet Inovus permet l'intégration de l'un des derniers apports au projet. En effet, l'un des ajouts nécessaires à la finalisation du projet est l'élaboration d'un système de raisonnement, qui déterminera le risque encouru par la personne en fonction des données reçues depuis les capteurs. Basée sur les résultats retournés par ce module de décision, une procédure d'intervention doit être établie, en fonction du niveau de dangerosité du risque encouru par l'utilisateur. Ce système d'évaluation des risques est la clé de voûte du projet Inovus, puisque c'est celui-ci qui permet une interaction avec la cuisinière et son utilisateur. De plus, les interventions proposées par les systèmes déjà existants sont encore limitées dans leurs interactions avec la personne et leur efficacité. Celles que nous proposons avec le système Inovus permettent de répondre à tout type de situation, afin de rendre la personne responsable tout en la protégeant. Ce système est l'un des premiers de son genre à couvrir tous les risques liés à l'utilisation d'une cuisinière, tout en proposant des actions pour assurer la sécurité de l'utilisateur, grâce au système intelligent d'identification des risques.

Pour l'ensemble des interventions, nous proposons également des expérimentations visant à évaluer l'efficacité de celles-ci vis-à-vis des futurs utilisateurs du système. Grâce à ces expérimentations, des validations du fonctionnement du module de raisonnement sont

possibles, afin de vérifier le bon fonctionnement du module dans des situations réelles et quelles interventions seraient mises en œuvre.

## **Apport scientifique**

Le système Inovus est l'un des premiers systèmes couvrant l'ensemble des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière. La plateforme utilisée, avec son ensemble de capteurs et le module d'évaluation des risques, permet une modélisation des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière par une personne en perte d'autonomie. De plus, le système permettrait également une modélisation des habitudes des personnes utilisant les cuisinières équipées d'Inovus. Cette modélisation des habitudes permettrait d'avoir suffisamment de données sur l'utilisation des cuisinières pour permettre d'autres études sur ce domaine.

Par ailleurs, la validation du système raisonnement confirme que l'approche utilisée dans le projet Inovus est correcte et répond bien aux besoins des utilisateurs, c'est-à-dire la sécurité. Le prototype élaboré sert donc à prouver que notre module de décision est correctement calibré et permet d'effectuer les interventions appropriées en fonction des risques identifiés autour de la cuisinière, avec pour objectif d'assurer que les personnes âgées en perte d'autonomie vivent dans un environnement sécurisé. Par ailleurs, nous proposons un ensemble d'interventions afin d'informer la personne âgée sur la situation de la cuisinière, ainsi que la protéger le cas échéant. À notre connaissance, il n'existe pas à l'heure où nous écrivons ce document de système proposant des interventions couvrant l'ensemble des situations évoquées ici.

## **Méthodologie**

Nous avons débuté notre travail par une revue de littérature, afin de repérer les travaux déjà existants sur les risques autour de la cuisinière. Cela nous a permis d'identifier certains points manquant dans les recherches et les produits existants, ainsi qu'un recadrage de notre projet de recherche. Cette revue de littérature nous a permis également d'identifier les technologies existantes pouvant nous être utiles.

Une fois le projet bien cadré, nous mettons en place la plateforme matérielle nécessaire au fonctionnement d’Inovus. Étant donné que ce projet est en cours depuis 2008, certaines évolutions matérielles ont été nécessaires, notamment au niveau de la partie « intelligente » et de la chaîne d’acquisition. L’identification des risques nous permet ensuite de commencer à travailler sur le module de raisonnement d’Inovus, en débutant par le choix de la technologie à utiliser, ainsi que les niveaux de risques à utiliser.

Bien évidemment, l’identification des risques est un élément important de notre recherche. C’est pourquoi nous avons cherché ensuite des solutions d’intervention pour informer et protéger la personne en fonction du niveau de dangerosité des risques identifiés. Là aussi, la revue de littérature nous a aidés en nous permettant de trouver des solutions déjà existantes d’interventions.

Enfin, une validation du bon fonctionnement du système s’est imposée. Plusieurs expérimentations ont été mises en œuvre afin de couvrir plusieurs cas d’utilisations possibles de la cuisinière et du système Inovus. Par ailleurs, cela a permis de récupérer des données afin de valider le fonctionnement du module de raisonnement et d’optimiser son fonctionnement.

## **Plan du document**

Ce mémoire est composé de trois parties, ainsi que de trois annexes. Tout d’abord, la revue de littérature est présentée. Cette revue couvre plusieurs sujets importants pour le projet Inovus. Il y a tout d’abord une présentation des risques liés à l’utilisation d’une cuisinière, ainsi qu’une revue des solutions déjà existantes pour prévenir ces risques. La revue de littérature se penche également sur les différents outils disponibles pour la prise de décision, par exemple la logique floue ou les réseaux neuronaux. Il est de plus présenté des propositions venant d’autres recherches quant aux procédures d’intervention dans des situations proches de celles présentes dans le projet Inovus. Enfin, nous nous penchons sur l’acceptabilité de la technologie par les personnes âgées, élément clé du « succès » de toute solution dédiée à ce public en perte d’autonomie.

La deuxième partie de ce document porte sur notre module de raisonnement, qui permet de déterminer les niveaux de risques. Les niveaux de risque y sont présentés, ainsi que le choix de la technologie utilisée pour le raisonnement. Nous présentons ensuite la partie logicielle du projet Inovus. De plus, nous détaillons toutes les interventions que nous proposons pour le système Inovus afin d'avertir et de protéger l'utilisateur de la cuisinière.

Les expérimentations, ainsi que leurs résultats, visant à valider le module d'identification et de décision sont détaillées dans la troisième partie du document. De plus, les résultats de la validation du fonctionnement du module de raisonnement sont présentés. La conclusion du document est accompagnée d'une discussion quant au projet, ainsi que des pistes de travail pour les futurs travaux sur le projet Inovus.

La première annexe de ce document présente la partie matérielle du projet Inovus. Les besoins de la plateforme de la plateforme y sont décrits, ainsi que le matériel que nous avons utilisé. La seconde annexe présente une proposition de protocole à mettre en œuvre afin recueillir l'opinion de personnes âgées quant à leur acceptation d'un système tel qu'Inovus. Enfin, la troisième et dernière annexe liste les règles linguistiques régissant le fonctionnement du module de raisonnement d'Inovus.



# Chapitre 1

## Revue de littérature

Nous avons évoqué l'importance de sécuriser un outil tel que la cuisinière, en particulier pour les personnes âgées en perte d'autonomie. Il y est par ailleurs évoqué que les nouvelles technologies, notamment celles liées à l'intelligence artificielle, permettraient de mieux prévenir et intervenir sur les risques liés à l'utilisation de la cuisinière.

Nous estimons utile d'effectuer une revue de littérature, se focalisant sur plusieurs points. Étant donné que les risques ont déjà été bien identifiés par de précédents étudiants travaillant sur le projet Inovus, il n'est pas nécessaire de s'y intéresser en profondeur encore une fois. Cependant, il est important de nous pencher sur les solutions similaires au projet Inovus, afin de voir l'état de l'art actuel dans ce domaine. De plus, une revue des publications concernant des modules de prise de décision pour des situations à risques permettrait de relever certains points intéressants dans ce domaine pour notre propre module. Enfin, il est très important de regarder ce qu'il se fait actuellement concernant les procédures d'intervention, afin de savoir les manquements dans les produits actuels et l'apport éventuel que pourrait apporter Inovus.

### 1.1 Identification des risques

Les risques en relation avec l'utilisation de la cuisinière ont déjà bien été identifiés par d'anciens étudiants travaillant sur le projet, notamment par Thomas Tessier [16] et Thibault De Champs [17]. Trois risques majeurs ont été repérés comme étant en lien avec l'utilisation de la cuisine.

#### 1.1.1 Risque d'incendie

C'est peut-être l'un des risques les plus évidents dans notre cas, et aussi l'un des plus dangereux. Démarrer un incendie involontairement est relativement simple et peut s'avérer

dévastateur, au point de détruire le bâtiment si rien n'est fait pour contenir le feu. Les origines d'un incendie peuvent être très nombreuses (textile, produit inflammable, court-circuit ...) et dans certains cas difficiles à prévenir. Un groupe de travail du NIST indique qu'entre 1980 et 2002, 33% des incendies à domicile aux États-Unis ont débuté dans la cuisine. Ces incendies furent à l'origine de 47% des décès liés aux incendies à domicile [21]. Dans le cas de la cuisine, la cuisinière est un appareil souvent incriminé dans le départ d'incendie. L'utilisation d'une poêle à frire peut déclencher un incendie en moins de 10 minutes si la poêle est laissée sur le feu sans surveillance, comme l'indiquent Wong et al. [22]. Un incendie peut facilement se déclarer en faisant trop chauffer de l'huile de cuisson. Selon le type d'huile utilisée, la température d'ignition diffère grandement.

#### **1.1.1.1 Détecteurs de chaleur**

Le risque d'incendie est identifié depuis très longtemps, et de nombreuses mesures pour la prévention de ces incendies existent. Warda et al. ont établi un historique des solutions de prévention existantes [23]. L'une des premières technologies déployées en masse pour prévenir les incendies est les détecteurs de chaleur, dès 1921. Il existe deux technologies pour les détecteurs de chaleurs :

- Les détecteurs de température, qui mesurent la température ambiante d'une pièce, et active une alarme dès qu'un seuil de température (bien souvent défini par le constructeur) est dépassé.
- Les détecteurs de chaleur à taux d'augmentation, qui activent une alarme lorsqu'une hausse rapide de la température est détectée, en prenant en compte la température moyenne de la pièce.

Cependant, le temps que la température ambiante monte au seuil défini, ou que la hausse température soit détectée, l'incendie est généralement déjà déclaré. Si ce dispositif peut se montrer utile pour détecter un incendie, il ne permet en aucun cas de prévenir les personnes du risque d'incendie. C'est l'une des raisons pour laquelle les détecteurs de chaleur sont tombés en désuétude dans la cuisine, au profit des détecteurs de fumée [23].

### 1.1.1.2 Détecteurs de fumée

Les détecteurs de fumées furent quant à eux utilisés par le grand public pour la première fois dans les années 1960 aux États-Unis, avant d’être vendus sous la forme la plus répandue aujourd’hui (station fonctionnant sur batterie) à partir des années 1970. Au Québec, le Code de Sécurité de la Loi sur le Batiment (B1.1) stipule que “Des avertisseurs de fumées ... doivent être installés [...] dans chaque logement”<sup>1</sup>.

De très nombreuses études ont montré l’efficacité des détecteurs de fumées pour prévenir les blessures et décès liés aux incendies. Marty Ahrens, de la National Fire Protection Association (NFPA), a tenté de résumer dans un article [24] ce qui est connu concernant l’efficacité et les performances des détecteurs de fumées, ainsi que les statistiques concernant les incendies à domicile aux États-Unis entre 2000 et 2004. Son étude se base sur les données fournies par la NFPA elle-même, ainsi que les données récoltées grâce au National Fire Incident Reporting System (NFIRS), une base de données américaine recensant les incendies où les services de secours ont eu à intervenir. L’un des points les plus importants ressortis de son étude des données est que le taux de mortalité pour 100 incendies rapportés est moitié moindre dans les domiciles disposant d’alarmes fonctionnelles, en comparaison aux domiciles non équipés ou avec équipement non fonctionnel. Il a également été constaté que les personnes disposant d’une alarme incendie avaient plus de probabilité de se trouver dans la pièce où le feu a débuté, risquant plus d’être blessé que ceux ne disposant pas d’alarme. Cette donnée est utile pour le contexte d’utilisation du système Inovus, dans le cas où la personne se trouve à proximité de la cuisinière, et que l’appareil déclenche un incendie. Un dispositif permettant d’empêcher l’incendie de se déclarer permettrait éventuellement à la personne d’éviter des blessures significatives.

Un rapport sur les alarmes incendie aux États-Unis, toujours écrit par M. Ahrens, indique que durant la période 2007-2011, trois décès sur cinq en raison d’incendies à domicile se sont

---

<sup>1</sup>

[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/B\\_1\\_1/B1\\_1R3.H TM](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/B_1_1/B1_1R3.H TM) - visité le 23 avril 2016

produits dans un lieu ne disposant pas d'alarmes incendie [25]. Dans 73% des incendies à domicile déclarés, un détecteur de fumée était présent, mais celui-ci n'a sonné que dans la moitié des cas. Ce manque de fiabilité relative des détecteurs d'incendie peut être causé par plusieurs choses : (1) le détecteur était installé trop loin du lieu de l'incendie et n'a donc pu le détecter ; (2) Le détecteur n'était pas en état de fonctionner, soit par manque d'entretien, ou par manque d'alimentation électrique (batterie vide, alarme pas branchée ...) ; et (3) Le détecteur a été désactivé par les habitants en raison de la nuisance sonore générée par les fausses alertes.

L'article d'Arhens fait aussi mention des deux technologies différentes de détecteurs de fumées parmi les plus répandues : les détecteurs de fumées par ionisation et les détecteurs photoélectriques. Malgré leurs différences de fonctionnement, les deux technologies sont couramment utilisées dans les détecteurs installés à domicile. Les détecteurs par ionisation sont dans la plupart des cas plus réactifs que les détecteurs photoélectriques [26]. Une étude de T. Fazzini et al. a comparé les deux technologies et leur taux de fausses alarmes dans deux villages en Alaska [27]. Les résultats de l'étude montrent que les détecteurs par ionisation ont un taux d'alarme huit fois plus élevé que les détecteurs photoélectriques et que par conséquent 19% des détecteurs par ionisation furent débranchés par les habitants. Cette publication montre un des problèmes récurrents de tout système de sécurité générant des alarmes : les fausses alertes tendent à exaspérer les utilisateurs, parfois jusqu'au point de désactiver ces systèmes. Cette donnée l'importance de l'acceptabilité pour la conception de tout système. Avec Inovus, nous voulons réduire ce risque quant à l'acceptabilité en

### **1.1.1.3 Extincteurs à eau**

Concernant les risques d'incendie spécifiques à la cuisine, ils sont également bien identifiés et la littérature abonde d'études et de présentation de systèmes visant à stopper les départs de feux, voire les éviter. L'un des systèmes les plus présents actuellement et l'un des plus efficaces pour la suppression d'un incendie est l'extincteur automatique à eau. Ces extincteurs sont des dispositifs fixes, installés au plafond et reliés à un réseau de tuyauterie d'eau. Lorsqu'une température excessive est détectée par l'extincteur, il libère une quantité d'eau dans le but de faire baisser la température et d'éteindre le feu responsable de la hausse de température.

Un rapport de la NFPA sur l'utilisation de ces extincteurs aux États-Unis indique que ceux-ci sont suffisants pour éteindre un incendie dans 96% des cas [28]. Ceux-ci sont le plus souvent présents dans des établissements publics et résidences, où en moyenne la moitié de ces bâtiments en sont équipés. Cependant, les lieux résidentiels (maisons, appartements) ne sont quasiment pas équipés, avec un taux d'installation de seulement 6%, malgré leur efficacité. Ce faible taux d'installation à domicile peut s'expliquer par le coût du système, qui est encore relativement élevé, ainsi que les contraintes d'installation. Au total, seulement 10% des bâtiments impliqués dans un incendie étaient équipés d'extincteurs automatiques à eau. Un autre problème venant des extincteurs automatiques à eau peut également venir de leur trop grande efficacité à éteindre un incendie. Si l'extincteur s'active lors d'une fausse alerte, la projection d'eau a de fortes chances d'abimer ce qui se trouve sous l'extincteur, que ce soit le mobilier ou l'électroménager.

L'efficacité de l'utilisation dans la cuisine d'extincteurs en tant qu'intervention pour un incendie fut étudiée par Chow et al. [29]. Son étude se concentrait sur l'extinction d'incendies causés par l'ignition d'huile de cuisson. Il est constaté dans l'étude qu'il est difficile d'éteindre ces feux, et qu'ils se rallument très facilement. L'eau projetée par l'extincteur commence d'abord par intensifier le feu, avant de finalement supprimer tout feu dès que suffisamment d'eau est projetée. L'eau dans ce cas-là a pour but de refroidir le liquide inflammable, ici l'huile de cuisson. Toutefois, projeter trop d'eau d'un seul coup risque au contraire d'aggraver la combustion, et dans le même temps générer une plus grande concentration de monoxyde de carbone.

Si les extincteurs automatiques à eau sont efficaces pour sauver le matériel et les vies humaines, il n'empêche pas le feu de se déclarer, mettant pendant un court laps de temps les habitants en danger. Tout comme les détecteurs de fumée ou de chaleur, les extincteurs ne sont pas des outils de prévention des risques, mais plutôt des outils d'intervention, pour protéger la personne et les biens matériels. Ici, ces trois appareils permettent une intervention en aval du risque. Les deux détecteurs permettent d'avertir la personne de présence du danger et que celle-ci doit intervenir pour le stopper ou se mettre en sécurité, au risque de laisser la personne en cas de

fausses alarmes. L'extincteur, quant à lui, va plus loin en apportant une aide (visiblement efficace au vu des statistiques) pour l'extinction d'un incendie s'étant déclaré.

#### **1.1.1.4 Autres dispositifs**

Malgré tout, il existe des dispositifs plus préventifs que ceux énoncés précédemment, qui anticipent la présence du danger d'incendie. Lushaka et al. ont développé en 2012 un appareil permettant une action préventive quant aux risques d'incendie liés à l'utilisation d'une cuisinière [26]. Ce dispositif se couple à un détecteur de fumée photoélectrique, et permet de désactiver l'alimentation électrique de la cuisinière dès lors que le détecteur de fumée détecte la présence de fumée. Le contrôleur traitera les données provenant du détecteur et déterminera s'il est nécessaire ou non d'éteindre la cuisinière. Le but de ce dispositif est de prévenir les risques d'inattention de la personne cuisinant, qui laisse quelque chose sur le feu et part vaquer à d'autres occupations. Les auteurs concluent en indiquant que leur dispositif n'a rien de nouveau, et que des systèmes d'extinction automatique de la cuisinière après détection d'une trop forte température sont déjà intégrés dans des cuisinières grand public. De plus, les auteurs notent que pour obtenir encore moins de fausses alertes, leur dispositif doit être couplé avec des capteurs de température ainsi que des détecteurs de présence afin de détecter si quelqu'un utilise la cuisinière ou non.

Il est intéressant de noter que le contenu de cet article confirme la direction prise par Inovus depuis 2008. En effet, le système Inovus prend en compte plusieurs paramètres pour prévenir les risques, et ce afin d'éviter au maximum les fausses alertes, en surveillant notamment la température de la cuisinière.

#### **1.1.1.5 Paramètres à surveiller**

Plusieurs recherches s'intéressant aux incendies en cuisine (ainsi que le travail déjà effectué sur le projet Inovus), s'appuient grandement sur un rapport extrêmement complet du NIST sur ce sujet [30]–[33]. Ce rapport décrit toutes les conditions permettant à un incendie de se déclarer par le biais de l'utilisation d'une cuisinière. Il décrit également les indicateurs permettant de détecter qu'une ignition est proche, en fonction du type de nourriture cuisiné et

du type de cuisinière. Parmi les conclusions de l’auteur et de son équipe, plusieurs remarques sont intéressantes. L’une de ces remarques indique que la cuisson sans surveillance, où la nourriture peut devenir proche d’un état d’ignition, émane bien plus de gaz et de particules, avec des températures mesurées plus hautes, qu’une cuisson surveillée et traditionnelle. Une autre remarque confirme également ce qui a déjà été évoqué à plusieurs reprises dans ce chapitre, à savoir que les alarmes incendie sont efficaces pour détecter les conditions de préignition, mais génèrent bien trop de fausses alarmes.

Ainsi, surveiller les concentrations de gaz à proximité de la cuisinière permet de détecter un départ de feu efficacement. Parmi les gaz que le rapport préconise de surveiller, on trouve le monoxyde de carbone (CO), la concentration d’alcool dans l’air et les gaz de type VOC (composés organiques volatils). Ces trois gaz sont générés durant la cuisson d’aliments. Il y a donc une corrélation entre concentration de gaz et départ de feu. Cette corrélation permet de mettre en évidence que le risque d’intoxication par inhalation de fumée est étroitement lié au risque d’incendie. Il est à noter que ces trois gaz sont en effet surveillés par le système Inovus.

### **1.1.2 Risque d’intoxication**

Le risque d’intoxication par inhalation de fumées est fortement lié au risque d’incendie. De plus, étant donné que le projet Inovus ne cible que les cuisinières électriques, le risque d’inhalation de gaz toxique est d’autant moindre qu’avec une cuisinière à gaz. Seule la cuisson d’un plat pourrait produire des émanations toxiques. Un autre cas serait la “cuisson” d’éléments non prévus pour de telles chaleurs, comme par exemple mettre par inadvertance une boîte en plastique sur une plaque chauffante.

Concernant la cuisson des aliments, le seul risque viendrait d’une mauvaise combustion des aliments (une combustion incomplète), qui produirait du monoxyde de carbone, un gaz mortel pour l’homme. C’est un gaz inodore, généré par une mauvaise combustion, que celle-ci provienne d’un radiateur, d’un poêle, ou d’une cuisinière. Le monoxyde de carbone est un gaz asphyxiant qui trouble le transport de l’oxygène par les globules rouges [34]. Plusieurs symptômes peuvent indiquer une intoxication au monoxyde de carbone : fatigue, maux de tête,

nausée, tachycardie, perte de conscience, etc. Il est considéré que le niveau de sécurité pour le monoxyde de carbone est une concentration de 50 ppm. Une concentration de 200 ppm peut causer de légers maux de tête en deux ou trois heures, tandis qu'à 800 ppm, nausées et convulsions peuvent se produire en moins de 45 minutes. La concentration moyenne à domicile dans cuisinière à gaz se situe en 0,5 et 5 ppm.

### **1.1.3 Risque de brûlure**

C'est un risque qui fait partie intégrante de l'utilisation de la cuisinière. En effet, l'utilisation d'une cuisinière implique l'utilisation d'éléments portés à une haute température, pouvant brûler la peau si la personne entre involontairement en contact avec l'élément. Trois types de brûlures sont identifiées dans le cas de l'utilisation d'une cuisinière. Il y a tout d'abord la brûlure par contact d'objet chaud, la brûlure par projection de liquide chaud, comme de l'eau ou de l'huile. Par ailleurs, une brûlure par flamme est également possible, notamment par ignition de tissu. Dans ce cas-là, cette brûlure est aussi la cause d'un départ d'incendie.

Une étude de Turner et al. [35] indique que les brûlures liées à la cuisine représentent 27% des admissions de femmes âgées pour brûlures dans un centre des grands brûlés. L'une des principales raisons de brûlures vient de l'ignition du vêtement de la personne lorsqu'elle tente d'attraper quelque chose au-dessus de la cuisinière. Dans ce cas-ci, la brûlure a donc été causée par un départ d'incendie.

Une autre étude, effectuée par Den Hertog et al. [36], étudie les admissions dans un service d'urgence aux Pays-Bas pour des brûlures. Les jeunes enfants (jusqu'à 4 ans) et les personnes âgées (84 ans et plus) sont les personnes ayant le plus de risque de subir des brûlures nécessitant une admission aux urgences. En ce qui concerne les personnes âgées, la moitié des personnes interrogées pour l'étude se sont brûlées lorsqu'elles cuisinaient. L'ignition des vêtements et l'ébouillantage représentent les causes d'admission les plus fréquentes. L'ébouillantage se produit principalement lorsque la personne manipule un ustensile tel qu'une poêle ou une casserole. Environ un quart des victimes lient leurs brûlures à leurs problèmes de santé ou handicaps. Les difficultés d'adaptations des personnes en perte d'autonomie face à un problème



(par exemple de l'eau qui déborde d'une casserole), ainsi que le manque d'attention apparaissent comme les causes majeures de brûlures. Les auteurs concluent qu'un changement dans la conception des produits (ustensiles, cuisinière, bouilloire, etc.) pourraient éviter certaines brûlures, à la fois pour les personnes âgées, mais aussi pour toutes les autres catégories d'âges.

Les brûlures par contact peuvent facilement se produire avec l'utilisation d'une cuisinière. Ces blessures arrivent généralement à cause d'une inattention de la part de l'utilisateur. Plusieurs cas d'utilisation de la cuisinière peuvent intensifier le risque de brûlure par contact :

- La chauffe d'une plaque de cuisson sans aucun ustensile dessus ;
- La chauffe d'un ustensile sans contenu à l'intérieur ;
- La chauffe d'un ustensile contenant un plat risquant de projeter du liquide chaud.

Un autre cas de brûlure peut également être mentionné. Il est en effet possible que la personne renverse le contenu d'un ustensile, risquant ainsi de s'ébouillanter gravement. Cependant, la littérature s'intéressant aux brûlures chez les personnes âgées est très limitée, et très peu d'études à grande échelle existent. Une étude d'Ehrlich et al. a étudié l'admission pour brûlures de 77 patients ayant plus de 65 ans dans un hôpital américain [37]. L'étude indique que 68% des cas de brûlures étaient liés à la cuisine. 51% des brûlures par projections de liquide se sont produites dans la cuisine, contre respectivement 9% et 8% des brûlures par flammes et par contact. Le risque d'ébouillantage est donc un risque très important à prendre en compte, tout comme l'est le risque de brûlure par contact. De plus, une brûlure par ébouillantage peut avoir des conséquences bien plus graves qu'une brûlure par contact d'objet chaud. En effet, les brûlures par ébouillantage sont généralement plus importantes en superficie touchée que les brûlures par contact, en raison de la nature du liquide. Ceci peut expliquer pourquoi le taux d'admission pour des personnes ébouillantées est bien plus élevé que pour des brûlures par contact et flammes.

Nous constatons donc que le risque de brûlure est bel est bien présent, et plus important chez les personnes âgées (et les enfants) que pour d'autres populations. La cuisine est effectivement

un lieu où se produit une grande partie des brûlures. L'ébouillantage est très représenté dans les données d'admission aux services d'urgences. Cependant, les brûlures par contact sont sous-représentées. Ces blessures sont en effet souvent superficielles, au contraire de ce que peut causer un ébouillantage ou une brûlure par flamme. Les brûlures par flamme sont également très représentées, avec notamment l'ignition des vêtements de la personne. Un lien est donc présent entre les trois risques identifiés par Inovus.

## **1.2 Étude des solutions de prise de décision**

L'un des parties essentielles du projet Inovus est la capacité du système à pouvoir déterminer à quoi l'utilisateur de la cuisinière est confronté en termes de risques, afin de l'aider dans sa prise de décision, quitte à ce que le système intervienne lui-même. Nous avons effectué une revue de littérature sur ce sujet afin de rechercher d'éventuelles solutions de prise de décision pour la gestion des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière ainsi que la prise de décision quant à l'intervention. Par ailleurs, nous avons également observé ce qu'il se produisait dans d'autres domaines faisant usage de technologies de prise de décision, comme la logique floue ou les réseaux neuronaux.

### **1.2.1 Présentation des solutions**

#### **1.2.1.1 Logique floue**

Le concept de logique floue fut défini par Lotfi Zadeh en 1965 [38]. Il introduit son article en argumentant que les objets et êtres dans le monde réel ne sont jamais membres d'une classe d'appartenance unique, ou sont parfois difficiles à classer. L. Zadeh donne l'exemple de la classification des espèces animales, où certains organismes y ont un statut ambigu, comme les étoiles de mer ou les bactéries.

Le même raisonnement peut être effectué avec l'évaluation des risques par des êtres humains. Certaines situations pourraient être considérées par des personnes non informées des risques comme une situation normale et relativement sans danger, tandis que des personnes

expérimentées pourraient percevoir un risque dans une situation classique. La logique floue permet de simuler le raisonnement d'une personne expérimentée dans le domaine où celle-ci est compétente. Il en va de même avec les personnes en perte d'autonomie cognitive, qui ne sont plus forcément conscientes de certains dangers, notamment lors de la préparation d'un repas, et qui ont besoin de rappels et de protections quant aux risques possibles.

Plus récemment, en 2008, L. Zadeh s'est repenché sur la nécessité de la logique floue aujourd'hui [39]. Au vu des très nombreux apports effectués au fil du temps à la logique floue, Zadeh précise que la logique floue est une logique précise de l'imprécis et du raisonnement approximatif. Plus précisément, la logique floue peut être vue comme une tentative à formaliser deux capacités humaines, à savoir : (1) la capacité à prendre des décisions rationnelles dans un environnement rempli d'imprécisions et de manque d'informations et (2) la capacité à effectuer des tâches automatiquement, sans avoir à mesurer ou calculer quoi que ce soit auparavant.

Toutefois, concevoir un système de logique floue n'est pas une chose aisée. En effet, en raison de son mode de fonctionnement, reposant sur la simulation du raisonnement humain, il n'y pas de solution ou de méthodologie parfaite. Implémenter un module de raisonnement requiert une connaissance pointue de la problématique à régler. Un système logique floue étant bien élaboré est capable de simuler l'avis d'un expert sur un sujet avancé. La logique floue est d'ailleurs de plus en plus utilisée dans le domaine de la finance pour prévoir la situation économique d'une entreprise, afin d'éviter des investissements à risques [40]. Cela permet également de réduire les coûts de ces analyses financières, réduisant le nombre d'analystes à employer, tout en évitant des situations où l'investissement ferait perdre de l'argent.

La logique floue est également utilisée dans des domaines où la sécurité est un point critique du système, tout comme l'est la rapidité d'exécution. C'est le cas par exemple des systèmes utilisés dans la détection d'incendies, notamment les incendies dans l'aviation. S. Foo présente dans son article une solution basée sur la logique floue pour détecter les incendies provenant d'hydrocarbures dans le fuselage (au niveau des « dry bays ») et le compartiment moteur, en se basant sur un système d'enregistrement vidéo [41]. La vidéo (en noir et blanc) est analysée image par image. Chaque pixel d'une image est comparé aux pixels de l'image précédente, afin

de constater des variations dans les niveaux de gris. Plus les pixels se rapprochent du blanc, plus la probabilité de la présence d'un incendie est grande. Dans ce cas-ci, la logique floue est utilisée pour éviter les fausses alertes, comme une lumière s'allumant. La valeur de sortie est l'ensemble flou représentant la probabilité d'un incendie. Toutes les fonctions d'appartenance du système sont définies comme suit : Very low, Low, Medium, High et Very High. Le système est agrémenté d'un ensemble de règles linguistiques permettant de définir la valeur de sortie du système, c'est-à-dire la probabilité d'un incendie. Les résultats montrent que le système de logique floue s'est révélé efficace dans la détection d'un incendie, et que le système a de plus pu éviter les fausses alertes.

Un autre article présente un système de logique floue en rapport avec des incendies. Dattathreya et al. ont développé un système permettant la détection et l'élimination d'incendies au niveau des moteurs et des batteries de véhicules hybrides [42]. L'un des plus grands points communs de cet article avec le projet Inovus est la prise en compte des interventions à effectuer afin d'empêcher ou d'éteindre le feu dans le module de raisonnement. Des capteurs de température et d'humidité permettent de surveiller le moteur du véhicule, tandis que des capteurs de courant, de voltage et de température surveillent l'état des batteries. Les données de ces capteurs forment les ensembles flous d'entrée du système. Les valeurs de sorties du module de logique floue permettent au système de déterminer la probabilité qu'un incendie se déclare au niveau du moteur ou des batteries, afin de prendre les mesures nécessaires. Ces mesures comprennent un avertissement sonore pour le conducteur, ainsi que quatre gicleurs de produits extincteurs, placés au niveau des moteurs et batteries.

Ces trois solutions, bien que toutes différentes, ont tout de même un point commun. Étant donné les domaines d'applications liés à la sécurité, la réactivité du système est primordiale. Il en va de même avec Inovus, où la sécurité d'êtres humains est en jeu. Les trois articles évoquent l'utilisation de la logique floue et son efficacité. Toutefois, la logique floue n'est pas la seule solution de prise de décision existante.

### **1.2.1.2 Réseau de neurones artificiels**

De nombreuses technologies provenant du domaine de l'intelligence artificielle sont également utilisées, mais la plus répandue reste celle des réseaux de neurones artificiels.

Comme son nom l'indique, cette technique est basée sur un modèle simplifié des neurones biologiques. Tout comme un réseau de neurones biologique se modifie lui-même pour effectuer certaines tâches, les réseaux neuronaux artificiels modifient certains de leurs paramètres afin d'effectuer correctement la tâche demandée. Les réseaux neuronaux regroupent un ensemble de nœuds (les neurones artificiels), connectés entre eux afin de travailler en réseau dans une topologie prédéfinie (sauf dans certains cas où la topologie est un paramètre modifiable par l'application). Les connexions entre les nœuds se sont chacune vues attribuées un poids définissant le type d'information y transitant ainsi que la fréquence de transfert. Ce sont ces poids qui définissent le comportement du réseau [43]. Chaque nœud permet de traiter les données reçues d'autres nœuds, qui eux-mêmes traitent les données qu'ils ont reçues. Robert Hecht-Nielsen, l'inventeur du concept de réseau neuronal artificiel, les définit comme suit: "...a computing system made up of a number of simple, highly interconnected processing elements, which process information by their dynamic state response to external inputs." [44].

Du fait de leur fonctionnement, les réseaux neuronaux sont efficaces, tout comme l'est l'être humain, pour plusieurs tâches telles que la classification d'éléments ou encore la reconnaissance de formes et de modèles. Néanmoins, l'un des inconvénients du système est le fait qu'il est nécessaire de devoir entraîner le système, en lui fournissant des données types, afin de lui faire acquérir de l'expérience pour des situations réelles.

Des systèmes utilisent également un mélange de logique floue et de réseaux neuronaux. Cette technique se nomme les réseaux neuronaux flous. Cette technique fut pour la première fois définie par Jang en 1993, technique qu'il a nommé ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) [45]. Cette méthode consiste à concevoir un système de logique floue avec un réseau de neurones artificiel. Les réseaux neuronaux apportent à la logique floue la capacité d'apprentissage. Cela permet de modifier les valeurs des fonctions membres dans les ensembles

flous afin de correspondre au mieux à l'utilisation du système. De plus, les systèmes ANFIS les plus poussés sont capables d'apprendre par eux-mêmes les règles linguistiques utilisées dans le système d'inférence. Xiao et al. proposent une solution pour la détection d'incendie sur des bateaux reposant sur l'utilisation de réseaux neuronaux flous. Deux paramètres sont mesurés afin de détecter les incendies, à savoir la température et la densité de fumée. Le module de logique floue est conçu comme un réseau de neurones, où les poids de chaque nœud sont acquis via la phase d'apprentissage du réseau. Si la simulation effectuée tend à montrer l'efficacité du système, très peu d'informations sont fournies dans l'article quant à la simulation elle-même, ni les résultats de celle-ci.

### **1.2.1.3 Comparaison des technologies**

Certains articles tentent d'effectuer des comparaisons entre les différentes méthodes, afin de savoir laquelle est la plus performante. Kaur et al. comparent par exemple l'efficacité d'un module de logique floue à un système ANFIS pour un système d'air conditionné [46]. Les deux systèmes testés prennent en valeur d'entrée la température de la pièce ainsi que l'humidité relative de la pièce, et la valeur de sortie représente la vitesse de rotation du compresseur. 16 règles linguistiques régissent le module de logique floue. En ce qui concerne le système ANFIS, celui-ci fut entraîné avec un ensemble de données provenant d'expertises techniques. L'entraînement a modifié les valeurs des fonctions d'appartenances, et permis la création de nouvelles règles en remplacement de celles du module de logique floue. Les résultats de la comparaison montrent que le système ANFIS permet un contrôle plus précis de la vitesse de rotation du compresseur comparativement au module de logique floue. Cela permet des économies d'énergie, tout en rendant le système de climatisation plus efficace.

Plusieurs articles plus pointus dans leur domaine tentent également de comparer diverses techniques, notamment la logique floue et les réseaux neuronaux. Toutefois, il ne ressort pas vraiment de technique étant plus performante que d'autres. Lohani et al. ont tenté de comparer les performances d'un module de logique floue, d'un réseau de neurones et d'une approche par fonctions de transfert linéaire dans leur domaine d'études, à savoir la prédiction du ruissellement pluvial [47]. Leur comparaison se conclut sur le fait que, dans leur cas, le module

de logique floue est la plus performante des trois techniques testées. Cependant, selon leur méthodologie, la différence entre les performances de la logique floue et celle du réseau de neurones n'est que très faible, au point que dans certains cas les résultats sont équivalents. D'autres études comparatives, mettant en opposition logique floue et réseaux neuronaux, tendent à arriver à une conclusion similaire, à savoir que la variation de la performance entre les deux techniques est minime [48]–[50].

## **1.3 Interventions auprès de la personne**

Afin que le système Inovus puisse être efficace dans son rôle, des interventions auprès des personnes utilisatrices sont parfois nécessaires, notamment dans des situations où les risques sont à des hauts niveaux. Il est donc indispensable de trouver des solutions afin d'interpeller correctement la personne, tout en assurant au mieux sa sécurité lors de l'utilisation de la cuisinière.

### **1.3.1 Interventions au niveau de la cuisinière**

Concernant les interventions liées aux risques de l'utilisation d'une cuisinière, la littérature se fait rare quant à ce qui est existant. Beaucoup de travail reste donc à faire sur ce sujet afin de protéger les personnes âgées en perte d'autonomie vivant à domicile. L'intervention la plus retrouvée dans la littérature est l'interruption de l'alimentation électrique de la cuisinière, afin d'éviter l'aggravation des risques. Un dispositif similaire, le Fire Avert<sup>2</sup>, désactive également l'alimentation électrique de la cuisinière en cas d'activation d'une alarme incendie. Toutefois, contrairement au dispositif de Lushaka et al. présenté précédemment [26], le Fire Avert s'active dès qu'il entend le bruit de l'alarme, et non pas dès qu'il reçoit le signal du détecteur. Le Fire Avert ne se branche donc pas au détecteur, mais le risque de fausses alertes risque d'être plus élevé. Un autre dispositif, le CookStop<sup>3</sup>, détecte s'il y a une présence dans la cuisine pour s'occuper de la cuisson d'un plat sur la cuisinière. Si personne n'est revenu après une durée

---

<sup>2</sup> <http://www.fireavert.com/> - visité le 27 mai 2016

<sup>3</sup> <http://www.cookstop.com/home.html> - visité le 27 mai 2016

définie, alors le système désactive l'alimentation électrique de la cuisinière pour éviter tout risque d'incendie.

Cependant, ce type d'intervention est loin d'être suffisant, car rien n'est fait pour savoir l'état de la personne, ainsi que pourquoi cette personne n'a rien fait pour réduire le risque. De plus, comme évoqué plus haut dans ce document, diverses interventions existent pour les incendies à domicile. On peut citer par exemple les détecteurs de fumée qui génèrent une alarme sonore dès qu'un seuil de risque est dépassé, ou encore les détecteurs de chaleur, qui eux aussi génèrent une alarme lorsqu'une température trop haute est mesurée. Il y a également les extincteurs automatiques à eau, mais ceux-ci sont encore chers pour une installation à domicile. Ce ne sont pas des interventions qui sont spécifiquement destinées aux personnes âgées en perte d'autonomie, mais des outils destinés à tous. Leur utilité peut donc être limitée pour le projet Inovus, ou tout du moins ne pas être les seules solutions.

Li et al. [51] proposent un environnement de cuisine intelligente permettant d'assister les personnes âgées souffrant de démence lors d'une activité de cuisine. En utilisant le système, des aidants fournissent des indications à distance aux utilisateurs lors de la préparation de leur plat. De plus, un système de surveillance visuelle, composé de multiples caméras, permet d'observer les conditions d'utilisation de la cuisine, ainsi que les activités de la personne et l'utilisation d'objets. Il pourrait en effet être intéressant qu'un aidant donne des indications à la personne sur ce qu'elle devrait faire lorsqu'un risque se déclenche.

Il existe déjà des solutions sur le marché pour indiquer à la personne d'un risque. Sur chaque cuisinière aujourd'hui commercialisée, un voyant lumineux est présent et s'allume dès qu'une plaque de cuisson est allumée. Toutefois, ce voyant n'est pas forcément très visible, et il peut facilement être ignoré. D'autres cuisinières proposent également un voyant s'allumant dès lors qu'une plaque de cuisson est chaude, allumée ou non. Samsung, avec sa gamme de cuisinières à induction haut de gamme « Chef Collection », propose une technologie dénommée « Virtual



Flame »<sup>4</sup>. Cette technologie consiste en l'installation de LEDs autour du rond de cuisson. En fonction de la puissance de cuisson désirée, ces LEDs projettent leur lumière sur le pourtour de l'ustensile, sous la forme de flammèches. Plus la puissance de cuisson est intense, plus les flammèches seront grandes. Cette solution permet une compréhension facile de quel ustensile est potentiellement chaud, indiquant ainsi à l'utilisateur de la cuisinière de le manipuler avec prudence pour éviter les risques de brûlures. La figure 3 présente un exemple du fonctionnement de ce système sur un ustensile.



Figure 3 - Exemple de fonctionnement de la technologie Smart Flame

### 1.3.2 Interventions d'ordre plus générale

Si peu d'interventions sont actuellement proposées en rapport avec l'utilisation d'une cuisinière, d'autres domaines de la perte d'autonomie sont abondamment étudiés et documentés. En effet, parmi les nombreuses solutions proposées pour l'assistance à domicile de personnes en perte d'autonomie, de très nombreuses pourraient être également compatibles

---

<sup>4</sup> <http://www.samsung.com/uk/consumer/home-appliances/cooking-appliances/induction/NZ63J9770EK/EU> - Visité le 25 mai 2016

avec le projet Inovus. Kanai et al. ont développé un dispositif permettant d'avertir les personnes âgées de la présence d'un objet sur le sol pouvant être dangereux et engendrer une chute [52]. Pour tenter de compenser les troubles cognitifs de la personne, des notifications visuelles et sonores sont utilisées. Un éclairage directionnel, un vidéoprojecteur et un haut-parleur sont contrôlés par le système. Lorsqu'un objet au sol est détecté par le système (par le biais de capteurs), l'éclairage directionnel va cibler cet objet afin de faciliter sa détection par la personne, et ainsi éventuellement éviter une chute. L'article ne donne malheureusement que peu d'informations sur l'utilité du vidéoprojecteur et des haut-parleurs. Toutefois, leurs expérimentations montrent que pour leur cas d'utilisation, des interventions d'ordre visuel sont efficaces et permettent aux personnes d'éviter les obstacles. Ainsi, l'idée d'utiliser la lumière pour informer la personne des risques est intéressante, tout en étant relativement simple à effectuer à l'intérieur d'un domicile.

Les mêmes auteurs ont ensuite proposé un système de notifications sonores pour le personnel aidant dans une résidence pour personnes âgées [53]. Comme les aidants doivent s'occuper de plusieurs personnes dans une même journée, il est intéressant pour eux de savoir la situation des personnes, tout en respectant au mieux leur vie privée. C'est ainsi que les auteurs proposent de faciliter la connaissance de la situation de la personne en temps réel dans son domicile grâce à l'utilisation de notifications sonores. Chaque personne dispose d'un tag RFID (radio frequency identification) disposé sur sa ceinture, ou bien en porte-clés. Des récepteurs RFID sont installés à l'intérieur du domicile là où s'effectuent des activités de la vie quotidienne (réfrigérateur, canapé, bureau, lit, ...). De plus, d'autres types de capteurs sont utilisés pour détecter des actions sur des objets spécifiques (ouverture et fermeture de portes ou de tiroirs). Ces capteurs permettent de fournir des données à un module de prédiction de l'activité de la personne (basé sur un réseau bayésien).

Basée sur le résultat de la prédiction, une notification sonore spécifique à l'activité est envoyée aux aidants. Selon la situation de la personne âgée, le son généré sera différent. Par exemple, si la personne est à son bureau, l'aidant entendra des bruits de clavier ; si elle ferme une porte, l'aidant entendra le bruit d'une porte, etc. Cependant, les auteurs notent que les actions

effectuées habituellement par la personne âgée devraient être accompagnée d'un autre son, indiquant le degré de certitude de l'évènement. Pour le cas d'Inovus, les notifications ciblent d'abord les personnes âgées, mais ses aidants sont également visés par ces notifications. De plus, l'utilisation d'une cuisinière peut engendrer des risques très graves comme des incendies, et l'approche utilisée dans ce document n'est peut-être pas appropriée pour le projet Inovus sous cette forme. Les notifications sonores se sont prouvées efficaces dans le contexte de soulagement des aidants, mais les sons générés devraient être retravaillés pour mieux correspondre à Inovus et son fonctionnement.

Un grand nombre de solutions d'interventions relatives aux chutes reposent sur des solutions de téléassistance. La téléassistance est un service d'assistance à distance permettant à une personne vivant seule d'être mise en relation, par un simple appel, avec des personnes désignées ou un service d'urgence. Couplés avec d'autres équipements (par simplification, nous nommerons l'ensemble « pack domotique »), ces packs permettent de prévenir un certain nombre de chutes. Tchalla et al. proposent une étude sur l'efficacité d'un système d'assistance à domicile destinée aux personnes âgées en perte d'autonomie, dans l'objectif de diminuer le nombre de chutes [13]. L'étude reposait sur une cohorte de 194 personnes âgées de plus de 65 ans, vivant à domicile et étant en perte d'autonomie. Au final, la cohorte fut divisée en deux groupes : le premier groupe était équipé d'un « pack » domotique, tandis que le second ne l'était pas, dans l'objectif de déterminer l'efficacité du dispositif. Les technologies proposées pour l'étude sont regroupées dans un « pack », comprenant un dispositif de chemin lumineux ainsi qu'un système de téléassistance. Le chemin lumineux permettrait d'améliorer la visibilité du chemin que prend la personne de sa chambre jusqu'aux toilettes au milieu de la nuit. Quant au système de téléassistance, celui-ci se compose d'un boîtier permettant d'effectuer un appel vers un centre d'appel en tout temps, ainsi que d'un bracelet électronique. Ce bracelet permet à la personne d'émettre un signal d'urgence au service de téléassistance, afin de les notifier d'une chute ou d'un quelconque problème.

L'étude a suivi les personnes âgées pendant un an. Elle recense le nombre de chutes de chaque participant. Au total, 40% des participants ont chuté, dont seulement 30% d'entre eux faisant

partie du groupe équipé du chemin lumineux et du module de téléassistance. L'installation de ce pack a permis aux personnes de se sentir en sécurité, et ainsi se permettre de faire des choses qu'elles n'auraient probablement pas osé faire sans sécurité. Des solutions d'interventions relativement simples peuvent donc permettre à des personnes fragiles de reprendre confiance en elles, tout en réduisant la probabilité de se blesser. Il est important que la personne se sente en sécurité chez elle afin qu'elle s'épanouisse et puisse effectuer de façon normale et sécurisée ses activités de la vie quotidienne.

Une autre solution, ne concernant pas uniquement les chutes, mais de nombreux risques à domicile, est présentée par Van Hoof et al. [54]. Le document présente un dispositif similaire à un « pack domotique » nommé UAS permettant de détecter les risques à domicile pour les personnes âgées. Ce dispositif regroupe un ensemble de capteurs permettant de vérifier la position de la personne dans son domicile. Pour chaque pièce, une durée dite « normale » est attribuée. Si la personne reste dans la pièce plus longtemps que la durée normale, le système conclut donc que celle-ci a un problème et déclenche la procédure d'alerte. Tout d'abord le système va tenter d'appeler via téléphone la personne, afin de savoir si ce qui a été détecté était une fausse alerte ou non. Dans le cas d'une véritable alerte, un aidant professionnel est appelé pour qu'il se rende chez la personne âgée afin de la prendre en charge. Des caméras, installées en même temps que le système UAS, sont également activées lors du déclenchement d'une alarme. Cela permet à l'aidant de pouvoir éventuellement voir le problème avant de se rendre sur place. Il est intéressant de noter que le système UAS surveille aussi le risque d'incendie, grâce à l'utilisation de capteurs de fumées positionnés dans la cuisine.

Mallat propose dans son mémoire de Maîtrise une solution permettant d'aider les personnes âgées en situation d'urgence en se servant d'un réseau bénévole, "Assist-Me" [55] . C'est un système intelligent reposant sur deux applications pour téléphones intelligents : une application destinée aux personnes âgées (avec une interface qui leur est appropriée), et une autre application destinée aux personnes bénévoles recevant les demandes d'assistance. Il existe également un contrôle centralisé des informations, permettant d'effectuer le choix des

bénévoles appropriés en fonction de la situation de détresse de la personne âgée ainsi que sa localisation.

Le réseau fonctionne comme suit : lorsqu'une personne âgée est dans une situation de détresse (chute, errance, crime ...), il lui est possible d'envoyer un signal de détresse par le biais de l'application installée sur son téléphone intelligent. Elle peut préciser la gravité de la situation, ainsi que le type de problème auquel elle est confrontée. Le signal envoyé, le système central va déterminer, en fonction de la localisation de la personne, de l'urgence de la situation ainsi que de la situation elle-même, quel bénévole est le plus apte à intervenir pour aider la personne en détresse. Les bénévoles sont classés en fonction de leur proximité géographique avec la personne, leurs compétences (par exemple en secourisme), ainsi que par les avis déposés par d'anciennes personnes assistées. Il est également fait en sorte par le système que la personne bénévole ne soit pas surchargée par les demandes d'assistance, afin de répartir correctement la charge de travail. De plus, le bénévole est dans son droit de refuser une demande d'assistance. Dans ce cas, un autre bénévole sera sélectionné. Si la situation de la personne est réellement critique, alors un contact préenregistré par la personne (un proche ou un membre de sa famille) est directement contacté, afin qu'il prenne en charge sa situation personnellement.

L'ensemble du système est conçu pour profiter de l'aide de bénévoles, pour des situations ne requérant parfois pas l'aide de services de secours professionnels comme le 911. La notification des bénévoles est faite de telle façon qu'il y aura toujours quelqu'un pour répondre aux soucis de la personne âgée. Tout en prodiguant une assistance aux personnes âgées se sentant en détresse, l'utilisation de bénévoles peut permettre à ces personnes fragiles de conserver un lien social, lien qui peut permettre de mieux conserver les fonctions cognitives au fil du temps[56].

Il est également possible de s'inspirer d'autres domaines pour trouver des interventions viables pour le projet Inovus. Vazquez et al. ont étudié trois systèmes d'informations ambiants dédiés visant à une bonne adhérence médicamenteuse des personnes âgées en perte d'autonomie [57]. L'une des solutions consiste en l'utilisation de boîtiers ayant des formes géométriques différentes où sont positionnés les médicaments à prendre par la personne. Sur chaque boîtier est inscrit le médicament contenu ainsi que la pathologie qu'il traite. De plus la forme

géométrique du boîtier représente la fréquence de la prise du médicament. Les auteurs indiquent que ce dispositif a pour objectif de guider l'utilisateur, en l'informant de ce qu'il doit faire durant sa prise de médicaments. Une autre des solutions présentées par les auteurs vise à faire prendre conscience aux personnes âgées de continuer leur prise de médicaments, même si celles-ci se sentent mieux avant la fin de leur traitement. Pour arriver à cela, le système proposé est un objet regardable, tel un tableau. L'exemple montré dans le document représente une cage à oiseau virtuelle. Le comportement des oiseaux est influencé par l'adhérence médicamenteuse de la personne. Contrairement à l'exemple précédent, l'objectif de ce dispositif est ici de motiver la personne à prendre ses médicaments.

À première vue, l'exemple précédent n'a pas beaucoup de points communs avec l'utilisation d'une cuisinière équipée d'Inovus. Il est toutefois possible de dresser un comparatif de la prise de médicament et de l'utilisation d'une cuisinière. Dans les deux cas, les personnes peuvent se trouver en danger si elles ne sont pas assez vigilantes, soit sur leur prise de médicament, soit sur le bon fonctionnement d'une cuisinière. Bien que la réaction de la personne doive être bien plus rapide avec l'utilisation de la cuisinière, il pourrait être intéressant de s'inspirer d'idées d'interventions relatives à la prise de médicaments afin de trouver des interventions pour réagir aux risques liés à l'utilisation d'une cuisinière.

## **1.4 Acceptabilité de la technologie**

Toute conception de nouveau produit se confronte à l'acceptabilité du public. Cette acceptabilité est d'autant plus importante quand le public concerné est confronté à des problèmes de santé ou est en situation de handicap. Nous devons nous assurer que ce que nous proposons répond à leurs attentes et leurs problèmes.

Chen et al. ont effectué une recherche empirique sur l'acceptation de la technologie par des personnes âgées [58]. Un total de 19 études sont comparées. Chacune de ces études implique des personnes âgées et évoque l'acceptation d'un produit destiné à des personnes en perte d'autonomie. Sur les 19 études, 11 ont utilisé des enquêtes transversales, cinq ont procédé à des entrevues de groupe, deux ont effectué des expérimentations en présence de personnes

âgées, et une étude a combiné un questionnaire avec une entrevue. Les auteurs de la revue empirique concluent en précisant qu'il est primordial de prendre en compte les caractéristiques biophysiques, psychologiques, les capacités et les problèmes des personnes âgées concernées. Enfin, les auteurs regrettent le manque d'études ayant procédé à des expérimentations en présence des personnes âgées, préférant reposer leurs études sur des utilisations rapportées par les utilisateurs, qui sont souvent différentes de la réalité.

Bright et al. [59] se sont penchées plus particulièrement sur les dimensions psychologiques et socioémotionnelles de la conception de solutions d'assistance pour la mobilité des personnes âgées. Leur étude repose sur le projet DALi, visant à développer un déambulateur intelligent pour faciliter les déplacements de personnes âgées dans des lieux publics. Afin de comprendre comment les facteurs psychologiques et socioémotionnels pouvaient influencer l'opinion des personnes âgées quant au déambulateur, les auteures ont utilisé une approche qualitative. Les auteures ont procédé à des goûters consacrés à la technologie, des entrevues avec des personnes âgées, des réunions de groupe et des observations d'utilisation. Cette approche avait pour objectif l'obtention de retours de la part des utilisateurs les plus neutres émotionnellement parlant quant aux besoins pour le projet DALi.

Deux thèmes principaux ont émergé des discussions quant à l'utilisation du déambulateur, un thème positif quant à l'utilisation du dispositif et un autre négatif. Les personnes âgées positives envers le déambulateur avaient, pour certaines d'entre elles, déjà eu l'occasion d'en utiliser un. Elles font remarquer que cela apporte une sécurité supplémentaire, permettant ainsi un gain de confiance en soi. Cependant, nombreux étaient les commentaires négatifs. La plupart d'entre eux voient dans l'utilisation de technologies d'assistance au vieillissement un aveu de défaite et de déclin, poussant les personnes âgées à être dans le déni quant à leurs besoins. Ce déni semble être lié à une certaine fierté quant au fait de ne pas montrer de faiblesses. Un autre facteur important semble l'utilisation en public du déambulateur, pouvant embarrasser certaines personnes, ainsi que la peur de se sentir discriminé par une forme d'âgisme. La prise en compte de ces facteurs psychologiques et socioémotionnels a permis d'améliorer le cahier des charges du déambulateur en prenant en compte le ressenti des personnes quant à

l'utilisation du déambulateur, en essayant d'aligner l'utilité, l'utilisabilité et la désirabilité du déambulateur pour les personnes âgées.

Les auteures concluent qu'il est primordial de prendre en compte les besoins psychologiques et socioémotionnels des personnes âgées, afin que ceux-ci acceptent le produit. Le produit d'assistance peut avoir de grands bénéfices fonctionnels pour la personne, mais ceux-ci peuvent facilement entrer en conflit avec ce que la personne âgée désire, au risque de mettre à mal son bien-être plus tard. Le produit proposé ne doit pas être présenté uniquement comme un dispositif d'assistance ou médical. L'adoption et l'évaluation d'un produit d'assistance destiné aux personnes âgées ont de fortes chances d'être influencées par bien plus d'aspects que l'utilisabilité et l'utilité.

Enfin, Angelini et al. [60] ont appliqué la méthode d'évaluation de l'acceptabilité proposée par Bright et al. [59] sur leur projet de bracelet intelligent pour personnes âgées. Ce bracelet a pour principal objectif le suivi de l'état de santé des personnes âgées. Cependant, il est constaté, grâce à la méthodologie proposée par Bright et al., qu'un dispositif d'ordre purement médical n'attire pas les personnes âgées. Afin de pallier à cette barrière socioémotionnelle, le bracelet proposé par les auteurs se doit de lier utilité, utilisabilité et désirabilité, tout en ayant une esthétique attirante. La personne âgée ne doit pas percevoir le bracelet comme un dispositif médical, mais plutôt comme un outil de tous les jours, que cela soit par les fonctionnalités ou le design. Les auteurs ont donc choisi de donner à leur bracelet un design minimaliste et moderne, tout en planifiant de proposer des options de personnalisation du bracelet. En ce qui concerne les fonctionnalités additionnelles, celles-ci ne sont pas d'ordre médical. On trouve par exemple des fonctionnalités de paiement numérique (notamment pour les transports en commun), la réception de notifications provenant d'un téléphone intelligent ou encore la possibilité d'interagir avec des dispositifs intelligents du domicile. Ces fonctionnalités doivent faire penser à la personne âgée que ce dispositif n'est pas un dispositif médical, mais un objet promouvant une vie plus active pour la personne âgée.

Afin de valider leurs choix, les auteurs ont procédé à des entrevues avec des potentiels utilisateurs, de futurs potentiels utilisateurs et des employés d'une maison de retraite. Ils ont



tout d'abord demandé aux personnes interrogées leurs habitudes et leurs besoins quant à la santé, l'assistance, la technologie et les transports. Le concept du bracelet fut ensuite présenté. Seule une personne âgée (sur un ensemble de 14 personnes interrogées) n'a pas trouvé le bracelet utile. La plupart des personnes âgées trouvent inutile la fonctionnalité de suivi médical, tandis que les personnes plus jeunes l'ont trouvé utile pour leurs proches âgés. Les auteurs concluent sur le fait que pour tout dispositif destiné à des personnes âgées, les fonctionnalités médicales doivent être présentées comme accessoires, et non pas comme les principales fonctionnalités du produit.

## **1.5 Conclusion**

Par le biais de la revue de littérature, trois risques majeurs liés à l'utilisation d'une cuisinière ont été identifiés : le risque d'incendie, le risque de brûlure et le risque d'intoxication par inhalation de fumée. Les paramètres à surveiller afin de prévenir convenablement ces risques ont également été identifiés, notamment grâce aux travaux effectués précédemment sur le projet Inovus.

Pour l'avancement du projet Inovus, la conception des modules d'évaluation des risques et de contrôle des interventions est requise. Pour cela, nous avons tenté de rechercher quelles technologies étaient utilisables, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle. Deux algorithmes sont sortis du lot, à savoir la logique floue et les réseaux de neurones artificiels. Les différents documents montrent que bien que fonctionnant de façon fondamentalement différente, ces deux technologies tendent à obtenir des résultats similaires.

Enfin, nous avons également recherché dans la littérature s'il existait des solutions d'intervention quant aux risques d'utilisation de la cuisinière. Malheureusement, les articles à ce sujet sont très rares, et ne sont pas suffisamment développés pour le projet Inovus. Nous avons donc recherché dans d'autres domaines liés à la perte d'autonomie afin de trouver des interventions. La prévention sur les chutes des personnes âgées est un domaine à la littérature conséquente. Des solutions technologiques parfois simples sont suffisantes pour assurer à la personne le sentiment de sécurité à domicile. Dans d'autres cas, comme en déplacement à

l'extérieur de chez soi, une solution basée sur un réseau de bénévolat et deux applications de téléphones intelligents permettent une intervention rapide d'un bénévole dès lors qu'une personne âgée indique être en situation de détresse. Nous avons aussi étudié l'acceptabilité de la technologie par les personnes âgées. Étant donné les spécificités d'un tel public, il est primordial que le produit que nous concevons est effectivement intéressant aux yeux des personnes âgées en perte d'autonomie et leur entourage.

Cette revue de littérature nous a permis de déterminer que peu de solutions sont actuellement développées dans le but de prévenir les risques liés à l'utilisation d'une cuisinière par des personnes âgées. Les rares solutions existantes sont loin d'être suffisantes, et ne couvrent pas l'ensemble des trois risques que nous avons identifiés. Cependant, les solutions d'interventions concernant les chutes pourraient être intéressantes à étudier pour une utilisation dans le projet Inovus, notamment les solutions de téléassistance ou encore la création d'un réseau de bénévole se rendant chez la personne dès qu'une alarme s'est déclenchée. Par ailleurs, il pourrait être intéressant de s'inspirer de l'idée de Samsung d'indications lumineuses pour ses cuisinières à induction, afin de prévenir efficacement la personne des risques auxquels elle est potentiellement confrontée.

## **Chapitre 2**

# **Modules d'évaluation des risques de la cuisinière et d'intervention**

Ce chapitre vise à détailler le fonctionnement des modules d'évaluation des risques de la cuisinière et d'intervention, outil central du projet Inovus. Les niveaux de risque utilisés par le module de raisonnement y sont expliqués. Par ailleurs, le choix de la logique comme technologie de prise de décision est expliqué puis justifié. De plus, ce chapitre présente les différentes interventions auprès des personnes utilisatrices de la cuisinière que nous proposons pour le système Inovus. Toutes ces interventions sont justifiées quant à leur utilité et leur pertinence vis-à-vis de la personne utilisatrice de la cuisinière.

Nos interventions visent à couvrir l'ensemble des possibilités, afin de protéger la personne peu importe son emplacement au domicile. Des interventions d'ordres visuels, sonores, sociales et plus générales sont présentées.

### **2.1 Définition des niveaux de risques**

Le projet Inovus établit plusieurs niveaux de risques, en fonction de l'utilisation de la cuisinière par la personne. Ces niveaux de risques ont pour but de pouvoir déterminer quelles sont les interventions les plus propices à effectuer afin de : (1) prévenir les risques provenant de la cuisinière, et (2) prévenir efficacement la personne de ces risques. Ces interventions sont définies par le biais de protocoles d'intervention. En fonction du risque et de son intensité, l'intervention sera différente, afin de répondre au mieux au type(s) de risque(s) identifié(s). Le module de raisonnement sert à identifier les risques et leurs intensités en temps réel, et en fonction des résultats, les procédures d'interventions sont enclenchées.

Trois risques majeurs furent identifiés par des travaux antérieurs : le risque de brûlure (par contact d'objet chaud ou par projection de liquide chaud), le risque d'intoxication (par inhalation de fumée) et le risque d'incendie.

Le centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST) définit le niveau de risque comme une "indication du seuil ou du degré de tolérance à l'égard des mesures nécessaires et des délais d'exécution jugés acceptables". Le CCHST propose cinq niveaux de risques<sup>5</sup>, en se basant sur deux normes britanniques nommées OHSAS 18001 [61], [62] :

- Risque très faible – Ces risques sont considérés acceptables. Aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire autre que s'assurer que les mesures de contrôle demeurent en place.
- Risque faible – Aucune autre mesure de maîtrise n'est nécessaire à moins qu'il soit possible de mettre en œuvre une mesure qui demande peu de temps, d'argent et d'efforts. On attribue une faible priorité aux mesures visant à réduire davantage ces risques. Il faut s'assurer que les mesures de maîtrise demeurent en place.
- Risque modéré – Envisager de diminuer le risque, s'il y a lieu, à un niveau tolérable et de préférence à un niveau acceptable, tout en tenant compte des coûts de mise en place d'autres mesures. Les mesures de réduction des risques doivent être mises en œuvre dans une période de temps définie. Il faut s'assurer que les mesures de maîtrise demeurent en place, en particulier si le niveau de risque est associé à des conséquences préjudiciables.
- Risque élevé – Des efforts importants doivent être déployés pour réduire le risque. Des mesures visant à réduire le risque doivent être mises en œuvre de toute urgence dans une période de temps définie ; il peut être nécessaire d'envisager d'interrompre ou de restreindre l'activité, ou de mettre en place des mesures intérimaires visant la réduction

---

<sup>5</sup> [http://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/risk\\_assessment.html](http://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/risk_assessment.html) - visité le 26 mai 2016

des risques jusqu'à ce que des mesures permanentes aient été adoptées. Il peut être nécessaire d'allouer des ressources considérables pour mettre en place des mesures de maîtrise additionnelles. Il faut s'assurer que ces mesures demeurent en place, en particulier si le niveau de risque est associé à des conséquences très préjudiciables ou extrêmement préjudiciables.

- Risque très élevé – Ces risques sont inacceptables. Des améliorations importantes concernant les mesures de maîtrise des risques sont nécessaires de manière à réduire le risque à un niveau tolérable ou acceptable. L'activité doit être suspendue jusqu'à ce que des mesures de maîtrise des risques soient mises en place de manière à les réduire. S'il est impossible de réduire le risque, l'activité ne doit pas reprendre.

L'utilisation de ces niveaux de risques pourrait également être pertinente pour mesurer le niveau de dangerosité de l'utilisation de la cuisinière par des personnes âgées en perte d'autonomie à domicile. Nous avons choisi ces niveaux de risques pour représenter la sortie du module de raisonnement, qui détermine le niveau de risque en fonction des données des capteurs et des règles du module.

Dans le contexte de l'utilisation d'une cuisinière par des personnes âgées en perte d'autonomie, ces niveaux de risques correspondraient aux cinq situations suivantes :

- Risque très faible : Ce niveau de risque correspond à une non-utilisation de la cuisinière. Celle-ci est éteinte et aucun ustensile n'est utilisé. Il n'y a donc pas d'émanation de gaz, l'humidité est à un niveau normal et les plaques de cuisson ne sont pas chaudes. Il est très improbable qu'une brûlure, qu'une intoxication par la fumée ou qu'un incendie se déclare à cause de la cuisinière.
- Risque faible : Ce niveau inclut notamment le début et la fin de l'utilisation de la cuisinière, quand les plaques de cuisson sont chaudes, mais ne sont pas encore brûlantes. Cela implique que les plaques chauffantes commencent à être chaudes, mais ne sont pas encore à leur niveau optimum. Ce niveau de risque peut également représenter la cuisinière lorsque celle-ci est éteinte, mais les plaques sont encore

chaudes, mais refroidissent, ou bien qu'un ustensile toujours chaud soit positionné sur la cuisinière. Les risques liés à la cuisinière sont clairement présents, mais restent relativement minimes.

- **Risque modéré :** Ce risque correspond à une utilisation classique de la cuisinière. Les plaques et ustensiles sont chauds, et des émanations de gaz se produisent, mais ces risques sont inévitables lors de l'utilisation dite normale de la cuisinière. Ces risques sont d'ailleurs contenus grâce à la surveillance du bon fonctionnement de la cuisinière par l'utilisateur. Une vigilance de la part de l'utilisateur est requise, mais cette vigilance est normale pour cette situation.
- **Risque élevé :** cette situation peut correspondre à plusieurs cas. Il est tout à fait possible que certains plats cuisinés par la personne puissent affoler certains capteurs et troubler le système de logique floue, portant le niveau de risque de modéré à élevé. Un autre cas, plus probable avec des personnes âgées en perte d'autonomie, correspond à un manque de vigilance de la personne quant à la cuisson de son plat. Ce manque de vigilance peut amener certains dangers, et ainsi augmenter le niveau de risque. Les risques de brûlure et d'incendie sont élevés, signifiant que la personne a bien plus de risque de se brûler (que ce soit par contact ou par projection), ou de provoquer un incendie par inadvertance.
- **Risque très élevé :** Ce niveau représente le cas où rien n'a été fait pour réduire les risques, c'est-à-dire qu'il n'y pas eu d'intervention de la personne pour les endiguer. La situation est critique et il est fort probable qu'un incendie puisse se déclarer sous peu. Des mesures d'urgence doivent être mises en œuvre afin de réduire le niveau de risque, de s'assurer que la personne va bien et la protéger de cette situation dangereuse.

Les risques représentent les quatre sorties du module de raisonnement. Il y a trois risques spécifiques, à savoir le risque de brûlure, le risque d'incendie et le risque d'intoxication, ainsi qu'un risque général regroupant les risques précédents. En fonction de ces niveaux de risques, des interventions seront programmées afin d'informer la personne de la situation courante et la

protéger d'éventuels risques, tout en lui proposant d'être proactive dans sa gestion des risques de la cuisinière.

L'état de santé des personnes concernées par le projet Inovus ne leur permet pas souvent d'intervenir efficacement en cas de risque élevé ou très élevé, et l'évacuation pourrait aussi être un problème pour eux. Ainsi, il est nécessaire de proposer des interventions pour assister ces personnes dans les situations à plus grand risque.

## **2.2 Choix de la logique floue**

Le projet Inovus se sert de la logique floue pour déterminer le niveau de risque auquel est confronté l'utilisateur de la cuisinière. Le module de raisonnement permet donc, en fonction des valeurs retournées par les divers capteurs installés sur la cuisinière, de déterminer le niveau de risque pour chacun des risques identifiés, à savoir brûlure, intoxication et incendie. Le choix fut fait d'utiliser pour le projet Inovus la logique floue comme outil d'identification des risques.

La logique floue permet un raisonnement qui est similaire à celui que pourrait avoir un être humain, c'est-à-dire un raisonnement qui est plus qualitatif que quantitatif. L'un des grands atouts de la logique floue repose sur sa capacité à traiter des données imprécises, variantes et des concepts imprécis, au contraire de la logique traditionnelle qui exige des données exactes. L'approche prise avec la logique floue permet une classification d'éléments pouvant sembler imprécis dans le domaine mathématique, mais qui semblent cohérents dans la réflexion effectuée par un humain. Dans le cas d'Inovus, les données reçues par les capteurs peuvent être ambiguës, surtout si un seuil est défini. Par exemple, si un seuil d'alerte pour la température est défini à 45°C, mais que la température mesurée est de 45.1°C, doit-on considérer que la situation est bien plus dangereuse que lorsque la température était de 44.8°C ? La logique floue permet de pallier à ce problème de seuil défini, en offrant un compromis entre la génération de fausses alertes et une détection efficace des situations de risque.

Des personnes en perte d'autonomie, notamment au niveau cognitif, ne sont plus forcément en mesure de déterminer si une situation est dangereuse ou non. C'est l'un des objectifs du projet

Inovus, de permettre d'informer les personnes en perte d'autonomie des moments où celles-ci sont dans une situation à risque lors de l'utilisation d'une cuisinière. Le système Inovus ferait office "d'expert", qui indiquerait à l'utilisateur de la cuisinière s'il se trouve dans une situation dangereuse afin qu'il fasse preuve de précaution, ou bien encore lui indiquerait la marche à suivre pour atténuer le risque. Dans les cas les plus graves, "l'expert" prendrait la main pour protéger la personne d'un risque trop élevé. Ceci représente les procédures d'interventions à établir pour le projet Inovus. Mais avant de pouvoir bien les déterminer, il est primordial de pouvoir bien définir les différents risques et leur niveau de dangerosité.

Les risques majeurs liés à l'utilisation d'une cuisinière sont d'ores et déjà identifiés : le risque de brûlure (par contact d'un objet chaud ou par projection d'un liquide chaud), le risque d'intoxication (par inhalation de fumées ou de gaz), et le risque d'incendie. Pour chaque risque, des capteurs ont été choisis en conséquence afin de pouvoir détecter les paramètres précurseurs de chacun des risques. Auparavant, le module de raisonnement était à l'état embryonnaire. Des algorithmes pour détecter les niveaux de risques étaient cependant implémentés, avec des niveaux de risques binaires (Aucun risque ou bien Danger). Les différentes expérimentations menées ont permis de trouver pour chaque paramètre surveillé quels étaient les ordres de grandeur des seuils de risques.

C'est grâce à ces seuils de risques que le module de raisonnement a pu être conçu. Bien que les risques étaient déjà identifiés, des niveaux de risque binaires (risque ou bien aucun risque) n'étaient pas une graduation suffisante pour déterminer les interventions à effectuer. De plus, ces niveaux de risques étaient définis, c'est-à-dire que le dépassement d'un seuil fixé engendrait le passage au niveau de risque supérieur. Au vu des nombreux tests effectués sur la cuisinière et le projet Inovus, ainsi que de la littérature à notre disposition, nous disposons de beaucoup de données et de retours d'expériences quant aux potentiels risques liés à l'utilisation d'une cuisinière. Nous savons quelles sont les situations les plus à même d'être dangereuses, et les paramètres observés par les capteurs permettent une anticipation efficace des situations à risques afin de prendre des mesures préventives.



La logique floue utilise ces paramètres, ainsi que leurs seuils de danger, pour déterminer les risques auxquels la personne est confrontée. Les valeurs d'entrées du module de raisonnement sont donc les valeurs retournées par les capteurs. Chaque paramètre est déterminé selon des valeurs floues dans un ensemble flou comprenant trois fonctions membres. Ces trois fonctions membres de chaque ensemble flou représentent respectivement la situation où la cuisinière est éteinte depuis longtemps, la situation où la cuisinière est utilisée de façon normale (et pose certes un risque) et la situation où la cuisinière pose un grand risque pour la personne. Un ensemble de règles linguistiques va ensuite permettre de définir quel est le niveau de risque global ainsi que le niveau de dangerosité pour chacun des trois risques identifiés. Les valeurs de sorties du module peuvent être classées dans cinq fonctions d'appartenances, à savoir (1) risque très faible, (2) risque faible, (3) risque modéré, (4) risque élevé et (5) risque très élevé.

Ces cinq niveaux de risques permettent d'établir des protocoles d'interventions adaptés aux niveaux de risque auxquels la personne en perte d'autonomie est confrontée en utilisant une cuisinière. Ces protocoles monteront graduellement en importance, au fur et à mesure que le niveau de risque augmente.

L'une des raisons du choix de la logique floue repose sur sa simplicité, ainsi que la facilité d'évolution de ce type de logique. Comme il a été vu dans la revue de littérature, la logique floue permet des performances similaires à celles obtenues avec des réseaux de neurones artificiels. L'ajout de paramètres et de règles est relativement aisé en logique floue, et le système ne requiert pas un apprentissage, comme pour les réseaux neuronaux. Cet apprentissage peut apporter des erreurs de jugement de la part du module, tandis que l'évolution du programme de logique floue est entièrement contrôlée par le développeur du module. De plus, contrairement aux réseaux neuronaux, la logique floue ne fonctionne pas dans une « boîte noire », c'est-à-dire que son fonctionnement est visible et facilement compréhensible, et donc facilement adaptable. Les risques liés à l'utilisation d'une cuisinière seront sensiblement les mêmes pour toute personne, avec peu de variation. En effet, les capteurs seront toujours les mêmes, et les cuisinières varient peu dans leur conception, étant donné que le système est

uniquement destiné aux cuisinières électriques. Les cuisinières fonctionnant au gaz, par induction ou toute autre méthode sont exclues du projet Inovus.

## 2.3 Plateforme logicielle

La plateforme logicielle, entièrement hébergée sur le Raspberry Pi, doit être en mesure de pouvoir à la fois gérer les capteurs, le module de raisonnement, ainsi que la gestion des interventions. Le Raspberry Pi fonctionne avec le système d'exploitation GNU/Linux, sous la distribution Raspbian Jessie<sup>6</sup>. C'est une distribution entièrement dédiée au Raspberry Pi, tirée de la distribution Debian.

Le programme du système Inovus, programmé en C++, peut être décomposé en trois sous-systèmes. Nous avons tout d'abord un sous-système s'occupant de l'ensemble des capteurs de la plateforme. Ce sous-système s'occupe de récupérer les données provenant des capteurs, puis de les traiter afin que celles-ci puissent être compréhensibles par le second sous-système. Ce second sous-système va utiliser ces données afin de faire fonctionner le module de raisonnement qu'il contient. Ce module de raisonnement va permettre de déterminer les niveaux de risques auxquels est confronté l'utilisateur de la cuisinière. Enfin, le troisième sous-système va se servir du niveau de risque déterminé précédemment pour décider quelles sont les interventions les plus aptes à assister et informer l'utilisateur de la cuisinière. C'est ce même sous-système qui contrôle les modules d'interventions. La figure 4 présente une représentation schématique du fonctionnement de l'ensemble du système Inovus et de ses sous-systèmes.

---

<sup>6</sup> <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> - Visité le 5 juillet 2016

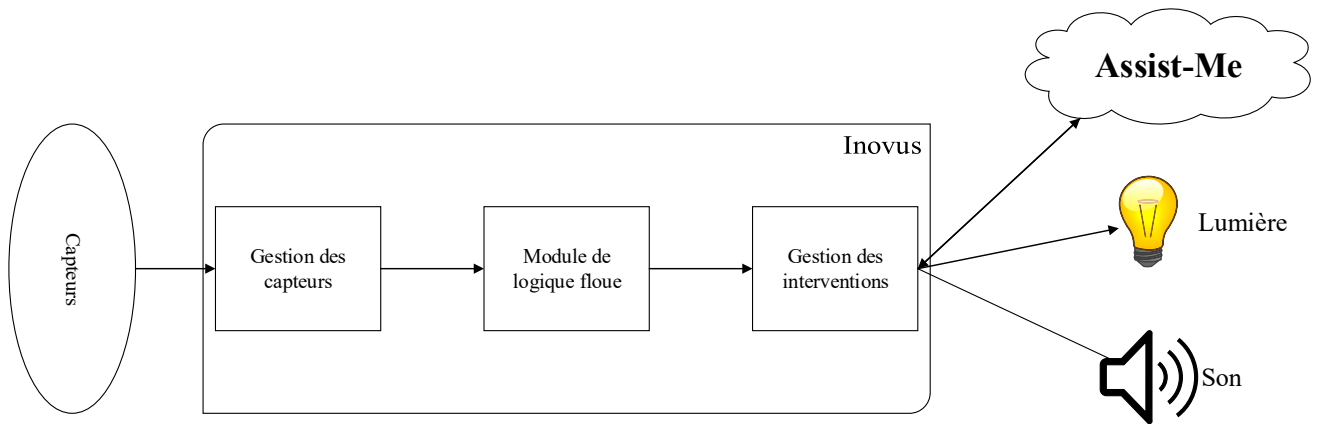


Figure 4 - Représentation schématique du fonctionnement d'Inovus

### 2.3.1 Module de gestion des capteurs

Comme évoqué dans la partie de ce document présentant la plateforme matérielle, les capteurs que nous utilisons ne communiquent pas tous de la même façon. Certains capteurs communiquent grâce au protocole I2C, tandis que d'autres sont des capteurs analogiques requérant une conversion analogique-numérique afin d'être compréhensibles par le Raspberry Pi. Cette partie de récupération et de traitement des données des capteurs fut déjà amplement étudiée par Thomas Tessier dans son mémoire de Maîtrise. Une bonne partie de nos travaux consistaient à adapter ses travaux au Raspberry Pi. Le contrôle des capteurs I2C s'est fait grâce aux bibliothèques WiringPi<sup>7</sup> et bcm2835<sup>8</sup> pour le capteur MLX90614. En effet, le capteur MLX90614 requiert la fonctionnalité « *repeated start condition* », qui n'est pas gérée par WiringPi, mais qui l'est par la bibliothèque BCM2835. Voici une vue d'ensemble de l'installation des capteurs sur la cuisinière. Plus de détails sur la plateforme matérielle sont fournis dans l'annexe A.

<sup>7</sup> <http://wiringpi.com/> - Visité le 5 juillet 2016

<sup>8</sup> <http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/> - Visité le 5 juillet 2016

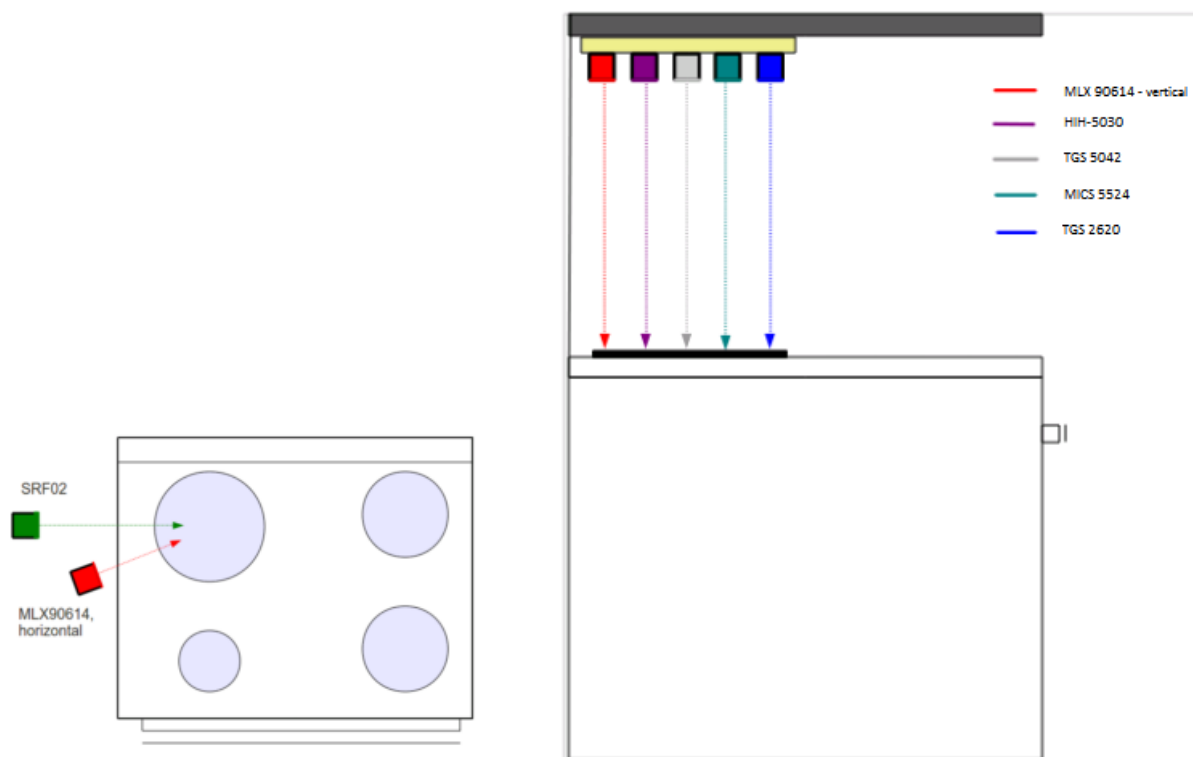


Figure 5 – Vue d’ensemble de l’installation des capteurs du système Inovus

Certains capteurs, en particulier le capteur de distance SRF02, censé détecter la présence d’un ustensile sur un rond de cuisson, sont très sensibles aux interférences. En effet, ce capteur est un capteur utilisant les fréquences ultrasons, qui sont des fréquences très sensibles aux perturbations extérieures, par exemple la chaleur. En effet, les ultrasons sont des ondes sonores, se déplaçant dans l’air. Or, si les conditions de l’air sont modifiées, que ce soit la température, le taux d’humidité ou la présence d’un gaz, la propagation de l’onde pourra en être modifiée. Le SRF02 n’est pas en mesure de compenser ces perturbations par lui-même, c’est donc la partie logicielle qui doit s’en occuper. Étant donné que le capteur est utilisé comme un capteur de présence, et non de distance, la distance exacte ne nous est pas nécessaire. Il nous est juste nécessaire de savoir si l’ustensile visé par le capteur se trouve dans la zone qui lui est définie (c’est-à-dire la plaque de cuisson). Une estimation de la distance est donc suffisante. Le système récupère donc 60 échantillons mesurés par le capteur, puis utilise un filtre moyenneur pour en déduire une estimation de la distance. De simples tests (placer un cahier à quelques

dizaines de centimètres du capteur), ont montré que l'estimation retournée par le capteur est assez précise pour estimer si un objet est dans une zone définie. En plaçant un cahier à 30 centimètres du capteur, celui-ci retourne des résultats compris dans une échelle entre 27 et 34 centimètres. Au contraire, si rien n'est mis devant le capteur, alors la distance mesurée est généralement proche des 120 centimètres.

Concernant les capteurs de température MLX90614 que nous utilisons, ceux-ci fonctionnent avec le rayonnement infrarouge. Ils sont beaucoup moins sensibles aux perturbations extérieures que les capteurs de présence SRF02. Toutefois, par mesure de sécurité, nous avons décidé d'utiliser le même filtre moyenneur que pour le capteur de présence, afin de nous assurer d'obtenir une valeur correcte. De plus, afin d'obtenir un résultat en degrés Celsius, le calcul suivant est nécessaire pour chaque échantillon. La formule est donnée dans la documentation du capteur [63].

$$Temp(^{\circ}C) = (Temp * 0,02) - 273,16$$

En ce qui concerne l'ADC utilisé pour obtenir des valeurs numériques de la part des capteurs analogiques, celui-ci communique également avec le protocole I2C. Toutefois, le fabricant de la carte, ABElectronics, fournit une librairie en C pour cette carte<sup>9</sup>. Il suffit donc d'appeler l'une des deux fonctions disponibles pour obtenir le résultat d'une conversion. « read\_raw » retourne la valeur brute de la conversion analogique-numérique, tandis que « read\_voltage » retourne le résultat de la même conversion, mais en volts.

Tous les capteurs analogiques que nous utilisons n'ont pas forcément besoin de voir leurs données traitées après la conversion pour être exploitées. La seule exception concerne le capteur d'humidité HIH5030, dont les données reçues nécessitent un traitement. En effet, la valeur de la conversion pour ce capteur ne retourne pas le taux d'humidité relatif. Une calibration est d'ailleurs nécessaire au début de l'utilisation de la cuisinière. Ensuite, un calcul, prenant en compte la calibration effectuée au début et la température ambiante (mesurée grâce

---

<sup>9</sup> [https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics\\_C\\_Libraries/tree/master/ADCPi](https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics_C_Libraries/tree/master/ADCPi) - Visité le 5 juillet 2016

au capteur MLX90614), est effectué pour obtenir le taux d'humidité relatif. Le calcul de la calibration est le suivant :

$$Calib_{HIH5030} = (47,64 * V_{out}) - 23,82$$

$V_{out}$  représente la valeur de la conversion analogique-numérique en Volt. Enfin, la valeur de l'humidité relative est calculée grâce à la formule suivante :

$$RH = \frac{Calib_{HIH5030}}{1,0546 - (0,00216 * T_{amb})}$$

$RH$  représente l'humidité relative,  $Calib_{HIH5030}$  la calibration du capteur, et  $T_{amb}$  la température ambiante en degrés Celsius. Les deux calculs présentés proviennent de la documentation technique du capteur HIH5030 [64].

Une fois toutes les données récupérées et traitées par ce sous-système, celles-ci sont envoyées au module de raisonnement afin qu'elles puissent servir à déterminer le niveau de risque auquel est confronté l'utilisateur de la cuisinière.

## 2.3.2 Module de raisonnement

Afin de pouvoir déterminer le niveau de risque auquel est confronté l'utilisateur, ainsi que pouvoir prendre des décisions pertinentes quant à l'utilisation d'interventions, une technologie de prise de décision doit être utilisée. Nous avons décidé pour Inovus d'utiliser la logique floue.

### 2.3.2.1 Fonctionnement de la logique floue

Le principe de fonctionnement général de la logique floue a déjà été rapidement présenté dans la revue de littérature. Il semble cependant important de détailler le fonctionnement de ce type de logique afin de bien comprendre ce que nous souhaitons accomplir avec notre module de raisonnement et comment nous avons procédé. En se basant sur le fonctionnement de la logique floue tel que proposé par Mamdani [65], nous présentons donc le fonctionnement de notre module de raisonnement basé sur la logique floue.

La figure 6 présente le fonctionnement général d'un système de logique floue :

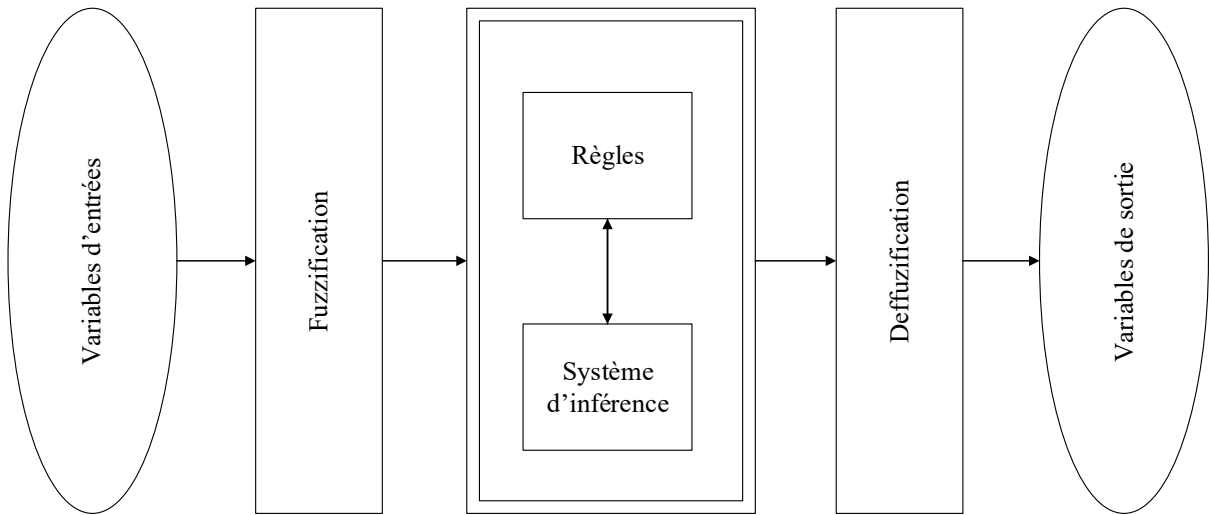


Figure 6 - Représentation schématique d'un système de logique floue

Mendel décrit dans un article le fonctionnement d'un système de logique floue [66]. Un système de logique floue est composé de quatre éléments : (1) un ensemble de règles linguistiques, (2) un module de fuzzification (ou « fuzzifier »), (3) un système d'inférence et (4) un module de defuzzification (ou « defuzzifier »). Les règles linguistiques sont écrites par le créateur du système de logique floue, et doivent refléter l'avis d'un expert afin de rendre la logique floue efficace. Elles peuvent également être déduites de données récoltées précédemment. Ces règles sont du format suivant « if A is X and B is Y then C is Z », où A et B sont des variables d'entrées, X et Y leurs fonctions d'appartenance respectives. Enfin, C est une variable de sortie, et Z est l'une de ses fonctions d'appartenance.

Étant donné l'utilisation de variable linguistiques (alors que les variables d'entrées ne le sont pas), il est nécessaire de traduire des valeurs numériques en valeurs linguistiques. Dans le cas d'Inovus par exemple, une valeur de température de 5°C a de fortes chances d'être considérée comme appartenant à la fonction d'appartenance « Froid », tandis qu'une température de 100°C risque fort d'être considérée comme appartenant à la fonction « Très chaud ». Cette attribution de termes linguistiques à des valeurs numériques est effectuée grâce à la

fuzzification. Pour chaque ensemble flou (l'ensemble des fonctions d'appartenance d'une valeur d'entrée), le taux d'appartenance de la valeur numérique de la variable d'entrée associée est évalué pour chaque fonction d'appartenance. La figure 7 présente un exemple d'ensemble flou pour la température de la hotte d'une cuisinière pour Inovus.

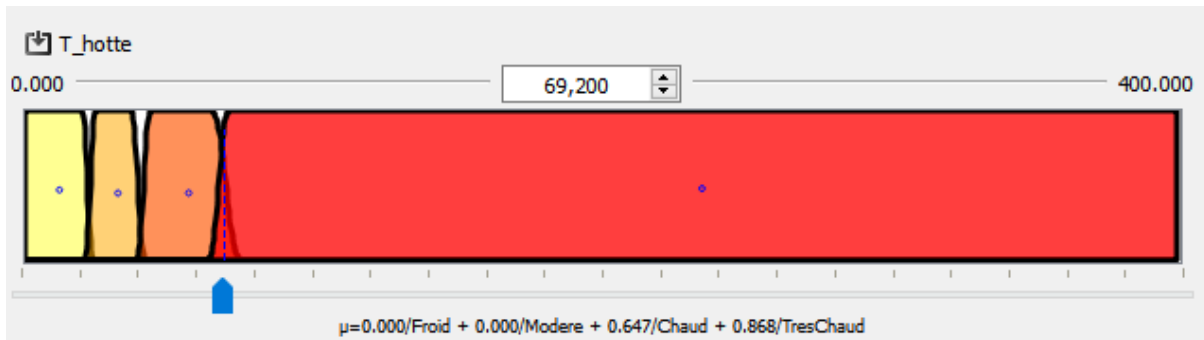


Figure 7 - Ensemble flou de la variable T\_hotte du module de raisonnement d'Inovus

À titre d'exemple, une variable de sortie est représentée de façon identique, comme montrée sur la figure 8. On peut y observer les cinq niveaux de risques utilisés par Inovus pour évaluer la situation. Dans l'exemple présenté, le niveau de risque est à un niveau « très élevé », indiquant qu'un danger est imminent pour l'utilisateur et que des actions préventives doivent être prises au plus vite pour atténuer la situation.

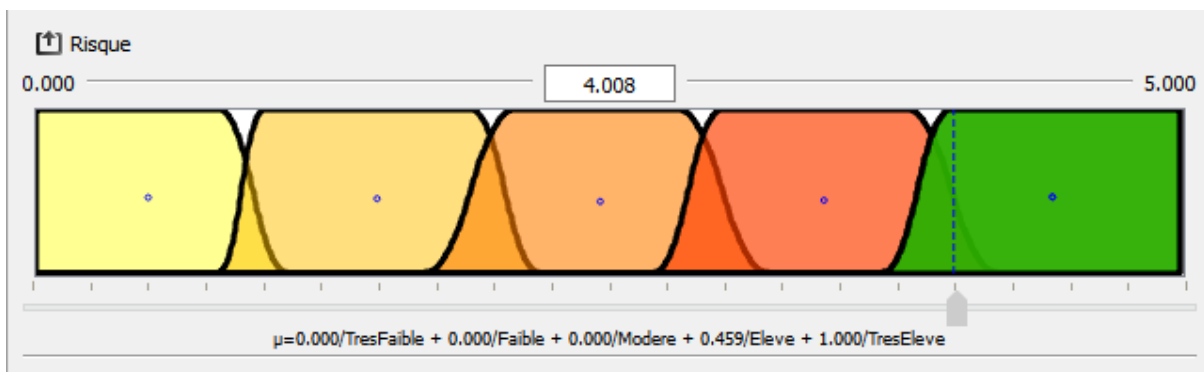


Figure 8 – Ensemble flou de la variable Risque du module de raisonnement d'Inovus

Le logiciel QtFuzzyLite, d'où sont tirés les captures d'écran précédentes, permet de simuler les valeurs des différentes variables d'un système de logique floue. Ici, l'ensemble flou de la



variable d'entrée  $T_{\text{hotte}}$  (température de l'ustensile prise depuis la hotte) est représentée. On peut constater que l'ensemble comprend quatre fonctions d'appartenance, à savoir, de gauche à droite : Froid, Modéré, Chaud et Très Chaud. Dans le cas montré, la valeur numérique simulée est  $69,2^{\circ}\text{C}$ . La fuzzification attribue une valeur d'appartenance à cette entrée pour chacune des fonctions de l'ensemble. Dans notre cas, on remarque que  $69,2^{\circ}\text{C}$  a un taux d'appartenance de 0.647 (1 étant le maximum) à la fonction « Chaud », un taux de 0.868 pour la fonction « Très Chaud » et 0 pour les autres fonctions.

Cette fuzzification est effectuée pour toutes les variables d'entrée. Une fois les taux d'appartenance établis, le système d'inférence prend le relais. C'est grâce au système d'inférence que le raisonnement a lieu. En fonction des règles établies et du résultat de la fuzzification, le système d'inférence détermine les valeurs linguistiques pour les variables de sorties. Plusieurs paramètres rentrent en jeu ici, notamment dans la lecture des règles par le système d'inférence et de ses opérateurs. En effet, les opérateurs OR ou AND peuvent être utilisés dans les règles, par exemple : « If  $T_{\text{Hotte}}$  is TresChaud OR  $T_{\text{Cote}}$  is TresChaud THEN Risque is TrèsElevé ». Afin d'être compris par le système d'inférence, une fonction mathématique est attribuée à ces opérateurs. Par exemple, pour l'opérateur « AND », il est possible de choisir, entre autres, la fonction minimum (retourne la valeur la plus basse) ou bien le produit des deux valeurs. Quant à l'opérateur « OR », on peut trouver les fonctions maximum (retourne la valeur maximum), ou encore la fonction de somme des deux valeurs. La mise en œuvre des règles linguistiques avec les opérateurs désignés va permettre au système d'inférence de générer des valeurs floues appropriées pour chaque valeur de sortie.

Ces valeurs floues de sorties sont transmises au module de defuzzification, dernière étape du système de logique floue. Ce module traduit la valeur floue en valeur numérique, afin que cette valeur puisse facilement être exploitée par un programme informatique. Là encore, il existe de très nombreuses méthodes mathématiques pouvant effectuer une defuzzification. Leekwijck et al. ont tenté de recenser et de classifier les méthodes de defuzzification les plus utilisées dans

la littérature [67]. Plusieurs des méthodes évoquées sont visibles sur la figure 9<sup>10</sup>. On peut constater que la valeur retournée varie quelque peu selon la méthode choisie :

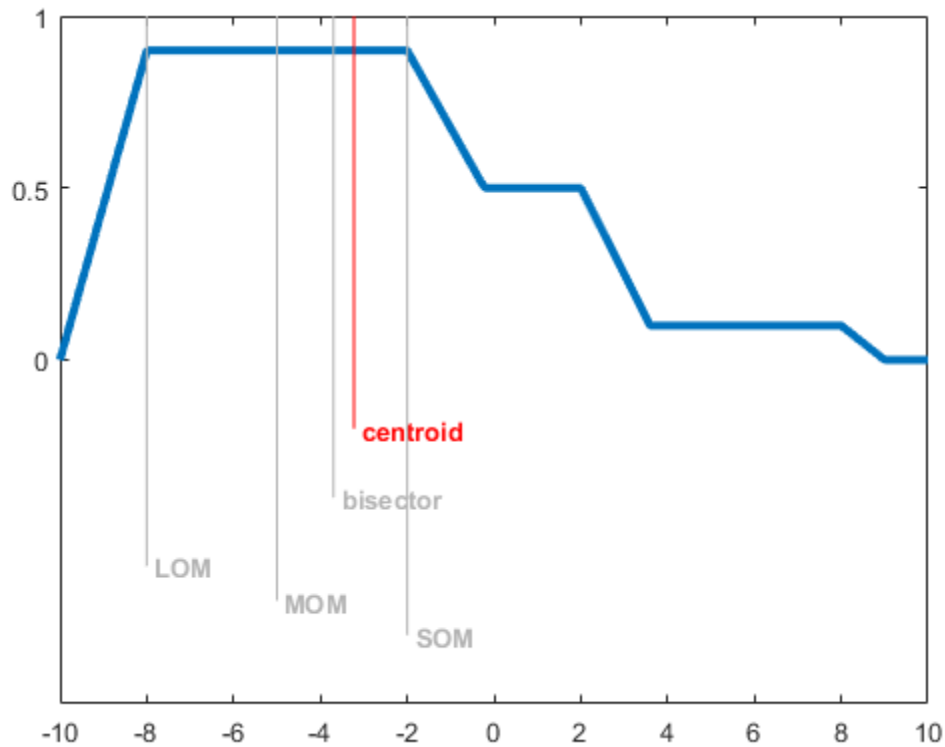


Figure 9 - Résultat de différentes méthodes de defuzzification

Sur ce graphe, LOM, MOM et SOM représentent respectivement les fonctions « Largest of Maximum », « Middle of Maximum » et « Smallest of Maximum ».

L'un des avantages de la logique est d'être un outil dont le fonctionnement global peut être facilement compréhensible par tous. Ceci est rendu possible grâce aux règles linguistiques qui sont utilisées par le système d'inférence.

<sup>10</sup> Source : <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/examples/defuzzification-methods.html> - Visité le 22 juin 2016

### 2.3.2.2 Module de raisonnement d’Inovus

Comme présenté par la figure 10, le module de raisonnement du système Inovus comporte sept entrées, représentant les données récoltées par les capteurs, et quatre variables de sorties étant les risques.

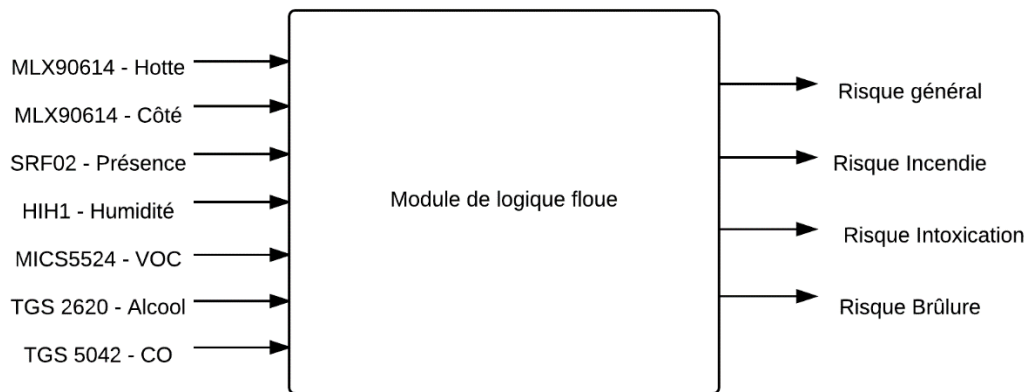


Figure 10 - Entrées/sorties du module de raisonnement d’Inovus

La définition des variables d’entrées fut relativement simple à effectuer. Étant donné le fonctionnement en temps réel d’Inovus, en s’appuyant sur des données provenant principalement de l’environnement, il était logique d’intégrer en entrée du module de raisonnement les données retournées par les capteurs. Cependant, la plupart de ces données nécessitent un traitement afin d’être facilement compréhensibles par le module de raisonnement, en particulier la valeur retournée par le capteur d’humidité. Cela est effectué en amont de l’envoi au module.

Les différents niveaux de danger pour chaque risque, qui font ici office de fonctions membres pour les variables de sortie, ont déjà été détaillés dans un chapitre précédent. Concernant les différentes fonctions membres de chaque variable d’entrée, celles-ci ont été définies en fonction des données qu’elles représentent. Leurs noms ont été choisis afin de représenter du mieux possible linguistiquement ce que représente la valeur retournée par le capteur. Il est important de noter que ces variables doivent représenter l’ensemble des cas possibles de

l'utilisation d'une cuisinière, c'est-à-dire même une non-utilisation de celle-ci. Le tableau 1 représente le nom des fonctions membres de chaque variable d'entrée.

Tableau 1 - Fonctions membres des variables d'entrée du module de raisonnement

<b>Variables d'entrée</b>	<b>Fonctions membres</b>	<b>Variables d'entrée</b>	<b>Fonctions membres</b>
MLX 90614 – Hotte	Froid	MICS 5524 – VOC	Faible
	Modéré		Modéré
	Chaud		Dangereux
	Très Chaud		Très Dangereux
MLX 90614 – Côté	Froid	TGS 2620 – Alcool	Faible
	Modéré		Modéré
	Chaud		Dangereux
	Très Chaud		Très Dangereux
SRF02 – Présence	Absence (Trop proche)	TGS 5042 - CO	Faible
	Présence		Modéré
	Absence (Trop loin)		Dangereux
HIH1 – Humidité	Peu Humide		Très Dangereux
	Modéré		
	Humide		
	Très Humide		

Nous pouvons constater que toutes les variables d'entrées, à l'exception de celle pour le capteur SRF02, disposent de quatre fonctions membres, qui ne sont pas identiques aux fonctions membres de sortie. Par exemple, en raison de l'imprécision du capteur de présence SRF02 et de la nature de l'information retournée par celui-ci, trois fonctions membres sont suffisantes. En effet, ce capteur ne fait que détecter si un ustensile est présent ou non sur la plaque de cuisson. L'ustensile ne peut être que sur la plaque ou absent de celle-ci. Cependant, lorsque l'ustensile est absent, il peut soit se trouver entre la plaque de cuisson et le capteur, ou bien plus loin de la plaque de cuisson. Le fonctionnement de la logique floue fait qu'un résultat pouvant apparaître comme binaire se retrouve avec trois fonctions membres, dont deux signifiant sensiblement la même chose.

En ce qui concerne les autres variables d'entrées, nous avons décidé de ne pas leur donner cinq fonctions membres, comme cela est le cas avec les variables de sortie. En effet, d'après ce qui a été constaté dans la revue de littérature, les trois niveaux de risques ne sont jamais liés à une seule valeur d'entrée, mais toujours à au moins deux paramètres différents. Ce sont les règles linguistiques qui définissent les valeurs de sorties, en fonction des valeurs d'entrées. Les règles que nous avons rédigées (visibles dans l'annexe C) utilisent à chaque fois au moins deux variables d'entrées pour déterminer les valeurs de sorties, et utilisent parfois l'ensemble des variables d'entrées pour déterminer les sorties. Nous nous sommes donc limités à quatre fonctions membres par valeurs d'entrées. Les expérimentations présentées dans le chapitre 3 montrent que quatre niveaux de risque sur les variables d'entrées suffisent à déterminer correctement le niveau de risque général ainsi que les trois risques spécifiques.

La fonction membre ayant le plus grand degré d'appartenance pour chaque valeur d'entrée va permettre, avec l'ensemble des règles, de déterminer le degré d'appartenance des fonctions membres de chaque valeur de sorties. Il est ainsi possible de déterminer le niveau de gravité de chaque valeur de sorties, à savoir les risques. Quatre variables de sorties sont utilisées pour le module de raisonnement. Nous utilisons une variable de sortie représentant le risque général, tandis que les trois autres variables représentent les risques spécifiques identifiés pour Inovus,

c'est-à-dire les brûlures, les incendies et les intoxications. Comme présenté sur le tableau 2, les fonctions membres pour chacune de ces variables de sorties sont identiques.

Tableau 2 – Fonctions membres des variables de sortie du module de raisonnement

Variable de sortie	Fonctions membres	Variable de sortie	Fonctions membres
Risque	Très faible	Brûlure	Très faible
	Faible		Faible
	Modéré		Modéré
	Elevé		Elevé
	Très élevé		Très élevé
Incendie	Très faible	Intoxication	Très faible
	Faible		Faible
	Modéré		Modéré
	Elevé		Elevé
	Très élevé		Très élevé

En ce qui concerne l'implémentation du module de raisonnement, celle-ci a pu s'effectuer grâce à l'utilisation de FuzzyLite<sup>11</sup> dans sa cinquième version [68]. C'est une librairie multiplateforme permettant le contrôle et la création de modules de logique floue. Il est possible de concevoir son propre système de logique floue à l'aide de l'interface graphique nommée QtFuzzyLite, fournie avec la librairie, ou bien de façon textuelle. Il est en effet possible de créer le module de raisonnement de façon textuelle grâce aux formats FCL (Fuzzy Control

<sup>11</sup> <http://www.fuzzylite.com/> - Visité le 23 juin 2016

Language) ou FIS (Fuzzy Inference System), ou bien encore FLL (Fuzzy Logic Language), un langage créé pour Fuzzylite. De plus, le module créé est ensuite exportable en C++, en Java (par le biais de JFuzzyLite, identique à FuzzyLite, mais programmé en Java), ou encore en FLL, FCL ou FIS. Étant donné que le reste du code du projet Inovus est en C/C++, nous avons généré notre système de logique floue grâce à l'interface graphique, puis exporté ce système en code C++.

Le module de raisonnement du système Inovus permet des prises de décisions quant aux risques liés à l'utilisation d'une cuisinière par des personnes âgées en perte d'autonomie. C'est au développeur de paramétrer le module de raisonnement afin qu'il corresponde au mieux aux risques à prévenir. Cependant, ces paramètres peuvent grandement varier en fonction des caractéristiques des capteurs utilisés, ou bien encore en raison d'éléments extérieurs au système Inovus (utilisation de la hotte, type de cuisinière, ...). De très nombreux paramètres rentrent en jeu lors de la conception d'un système de logique floue tel que notre module de raisonnement : taille d'une fonction membre, forme d'une fonction membre, fonctions des opérateurs ou encore la fonction de defuzzification. La littérature ne propose pas vraiment de solution ou de méthodologie précise quant au développement de la logique floue. Ainsi, l'optimisation de notre module de raisonnement passe inévitablement par des expérimentations en situation réelles, afin de récolter des données permettant d'établir avec certitude le bon paramétrage du module de raisonnement.

### **2.3.3 Module de gestion des interventions**

Une fois que le module de raisonnement a déterminé le niveau de risque auquel est confronté l'utilisateur, il est nécessaire d'établir quelles sont les interventions les plus efficaces à effectuer afin d'accompagner la personne et de la protéger. C'est le rôle du module de gestion des interventions. Celui-ci détermine, en fonction du résultat retourné par le module de raisonnement, les interventions les plus appropriées, puis les effectue.

Le module de raisonnement retourne quatre valeurs : (1) le risque global, (2) le risque de brûlure, (3) le risque d'incendie et (4) le risque d'intoxication. Le risque global est lié au niveau

d'intensité des trois autres risques. En fonction de quel est le risque le plus élevé, le système de gestion des interventions va déterminer la ou les interventions les plus aptes à être efficace(s) dans ce cas-là. Un niveau de risque élevé pour les incendies n'impliquera pas forcément les mêmes interventions que pour un risque d'intoxication.

C'est la principale raison pour laquelle il y a quatre sorties pour le module de raisonnement, et non pas uniquement la sortie du risque global. En fonction des interventions décidées, le module prendra le contrôle des périphériques d'interventions afin de le faire fonctionner comme désiré par le système. Par exemple, le contrôle des bandes LEDs (installées autour de la cuisinière), qui a déjà été mentionné précédemment, sera différent en fonction des niveaux de risques mesurés. Pour contrôler les LED, la librairie C++ « ws28128-rpi » a été utilisée<sup>12</sup>. Celle-ci permet un contrôle relativement aisé de toutes les LED. Plusieurs effets de lumières sont disponibles en guise de démonstration. Le fonctionnement général de la librairie pour éclairer les LEDs est le suivant : pour chaque LED que l'on souhaite éclairer, il faut définir le niveau d'intensité des composants vert, bleu et rouge (allant de 0 à 255), afin de déterminer la couleur et l'intensité lumineuse souhaitée. L'appel de la fonction « *show()* » permet ensuite d'illuminer toutes les LED paramétrées précédemment.

Au moment de la rédaction de ce document, seules les bandes LEDs sont partiellement opérationnelles. Les autres interventions n'ont pas encore été implémentées, que cela soit au niveau matériel ou logiciel.

## 2.4 Propositions d'interventions

Les interventions proposées pour le projet Inovus visent à interpeller l'utilisateur de la cuisinière quant aux dangers de son utilisation, ainsi qu'à informer ses proches quant aux éventuels risques auxquels est confrontée la personne âgée. Dans le cas d'Inovus, les utilisateurs sont des personnes âgées ayant des troubles cognitifs légers. Ce sont des personnes vivant encore à domicile et étant toujours aptes à cuisiner elles-mêmes. Cependant, leurs

---

<sup>12</sup> <https://github.com/jazzycamel/ws28128-rpi> - Visité le 16 juin 2016



troubles cognitifs peuvent altérer leur perception de l'environnement, et donc leur perception d'une situation pouvant être dangereuse. Des interventions sont donc nécessaires afin de rappeler à la personne ces situations de risques dans cette activité de la vie quotidienne qu'est cuisiner. De plus, dans les cas où la prévention n'a pas été assez efficace, le système Inovus se doit d'intervenir afin de s'assurer de la sécurité de la personne âgée.

Toutes ces interventions, que ce soit pour prévenir la personne âgée de risques ou bien éventuellement la secourir, doivent s'effectuer en prenant en compte les potentiels troubles cognitifs de la personne. Cela permettra des interventions bien plus efficaces auprès de la personne, en apportant une réponse adaptée à sa situation.

Afin de rendre efficace le système Inovus, nous proposons donc des interventions auprès de la personne âgée en lien avec son utilisation de la cuisinière. Toutes ces interventions sont proposées dans le but d'assister la personne tout en la protégeant des risques identifiés. Deux types majeurs d'interventions sont présentées : des interventions d'ordre visuelles et des interventions d'ordre sonores. Ces types d'interventions sont elles-mêmes composées de deux sous-systèmes, à savoir (1) le sous-système installé au niveau de la cuisinière et (2) le sous-système disposé dans l'ensemble du domicile. Dans la majeure partie des cas, le sous-système lié à l'ensemble du domicile ne sera mis en marche uniquement si l'on détecte que personne ne se trouve dans la cuisine, ou bien si cette personne présente n'est pas en mesure d'interagir avec la cuisinière pour endiguer la situation de risque. Dans ce dernier cas, le sous-système lié au domicile permettra éventuellement d'avertir d'autres résidents du domicile. De plus, d'autres propositions additionnelles de solutions d'interventions sont présentées afin d'avertir la personne et de prévenir les risques par d'autres moyens que les interventions visuelles et sonores. En plus des interventions sonores et visuelles, d'autres interventions d'ordre plus varié sont également présentées.

### **2.4.1 Interventions d'ordre visuel**

Les cuisinières disposent déjà d'indicateurs visuels indiquant si une ou plusieurs plaques sont allumées ou non. Cependant, ces indicateurs ne sont pas assez visibles et peuvent facilement

être oubliés, encore plus par des personnes en perte d'autonomie. En effet, ces indicateurs se limitent bien souvent à un simple voyant lumineux près des boutons de contrôle de la cuisinière. De plus, ces indicateurs indiquent juste qu'une plaque est allumée, et non pas qu'un risque spécifique est présent. Il semble donc nécessaire d'augmenter les indications visuelles qu'une cuisinière offre afin de prodiguer une intervention efficace pour la personne, voire même augmenter la portée de ces indications au-delà de la cuisinière.

#### **2.4.1.1 Au niveau de la cuisinière**

Ainsi, nous proposons l'installation d'un système d'interventions lumineuses, qui permettrait d'indiquer, pour chaque rond de cuisson, quel est le niveau de risque présent. Ce système d'intervention lumineuse se ferait sous la forme de bandes LED, installées à proximité des ronds de cuisine concernées. La lumière générée par ces bandes changerait d'intensité en fonction du niveau de risque, ainsi que de couleurs en fonction du risque concerné par le danger (brûlure, intoxication, incendie). En fonction du risque global, la couleur pourrait évoluer du vert pour une situation de risque modéré au rouge pour un risque très élevé. Dès la détection de l'allumage du rond concerné, la bande LED pourrait s'illuminer avec un effet dit de respiration. Cette respiration serait lente quand le risque est faible, mais augmenterait dès lors que le risque augmente. Les bandes LED permettraient une bien meilleure visibilité des dangers qu'un simple indicateur lumineux. Le fait que ces bandes soient placées à côté des plaques concernées améliore d'autant plus la probabilité que celles-ci soient remarquées. La figure 11 représente un rond de cuisson d'une cuisinière, avec dans le coin de la cuisinière une bande LED permettant d'informer la personne utilisatrice des situations de risques actuelles en lien avec le rond à proximité.

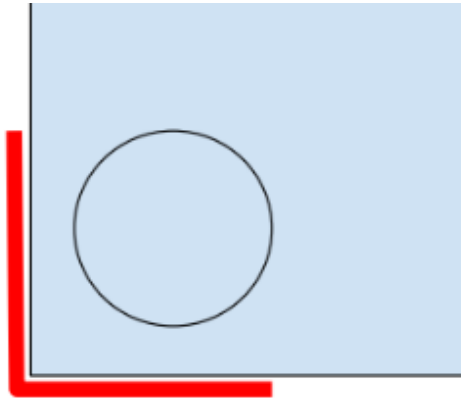


Figure 11 - Schéma de l'utilisation d'une bande LED sur la cuisinière

Une autre proposition pour l’affichage d’information quant aux risques présents passerait par l’installation de projecteurs LED dans la hotte. Ces projecteurs, si correctement exploités, permettraient de projeter directement les niveaux de risques autour du rond concerné et de l’ustensile installé dessus. Cela permettrait une identification du rond concerné encore plus efficace qu’avec les bandes LED. Cependant, cette solution peut éventuellement poser un problème de visibilité de la projection en fonction de la couleur de la surface de la cuisinière. Une surface blanche rendrait la projection moins visible qu’une surface de cuisinière noire. La figure 12 représente cette proposition d’affichage autour d’un rond de cuisson. Dans ce cas-ci, deux projections, de couleurs rouge et orange, permettent d’informer la personne des risques liés à l’utilisation de ce rond.

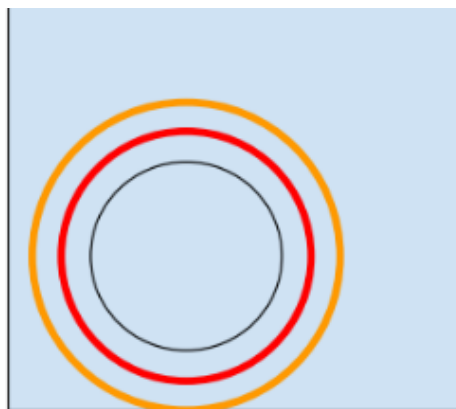


Figure 12 - Schéma de l'utilisation de projecteurs LED autour d'un rond de cuisson

L'utilisation du système lumineux s'effectuerait à n'importe quel niveau de risque, du plus faible au plus élevé. C'est un outil permettant aux personnes utilisatrices de la cuisinière de rester informées des dangers, tout en leur permettant de visualiser d'éventuels oublis de leur part (par exemple, oubli d'éteindre une plaque de cuisson). En aucun cas, ce système ne permettrait de résoudre les problèmes liés à l'inattention, comme le fait de quitter la cuisine pour faire autre chose en laissant la cuisson d'un plat sans surveillance.

En somme, une intervention lumineuse au niveau de la cuisinière apporte plusieurs avantages :

- L'intervention que nous proposons reste à proximité du rond concerné par le risque. Cela permet à l'utilisateur de savoir avec certitude quelle plaque de cuisson est allumée, et donc quelle plaque est la plus à même d'être à risque. Il pourra ainsi y porter son attention afin de limiter les dangers.
- Les deux solutions proposées sont bien plus visibles que le voyant lumineux habituellement installé sur les cuisinières. Il sera bien plus compliqué pour une personne atteinte de troubles cognitifs légers de ne pas apercevoir ce signal lumineux.
- Les solutions que nous proposons permettent de transmettre plus d'informations qu'un simple voyant lumineux. Il est tout à fait possible d'indiquer à l'utilisateur de la cuisinière quelles plaques sont utilisées, quel est le niveau de risque pour chaque plaque, voire même quelle est le type de risque auquel il est confronté.

Cependant, cette intervention lumineuse ne pourra être efficace uniquement dans le cas où la personne se situe dans la cuisine, ou du moins à portée de vue de la cuisinière. Dans les autres cas, la personne ne sera pas en mesure de voir ces signaux lumineux. Une solution d'intervention supplémentaire doit donc être mise en œuvre pour pallier à ce problème, par exemple par des notifications sonores ou encore de notifications lumineuses dans l'ensemble du domicile.

#### **2.4.1.2 Au niveau du domicile**

L'un des défauts de l'intervention présentée précédemment est le fait que la personne doive se trouver à proximité de la cuisinière afin que celle-ci soit interpellée par les signaux émis. Or, dans le cas où la personne est partie effectuer d'autres activités au sein du domicile, il est possible qu'elle ne remarque pas ces signaux. Il est donc nécessaire de proposer d'autres solutions afin d'informer la personne, peu importe sa position au domicile.

Agir sur l'éclairage du domicile dans ce but permettrait d'informer la personne dans l'ensemble du domicile. La diffusion d'information quant aux risques liés à la cuisinière deviendrait possible dans l'ensemble du domicile, ce qui pourrait inciter la personne à reprendre sa vigilance quant au bon fonctionnement de la cuisinière. Ces interventions pourraient s'effectuer en faisant par exemple clignoter l'éclairage d'une pièce, ou bien modifiant l'intensité lumineuse rapidement d'une ampoule, afin que cela soit moins agressif. La fréquence du clignotement varierait en fonction du niveau de risque afin que la personne prenne conscience du potentiel danger. Si les ampoules installées au domicile le permettent, il pourrait également être intéressant de modifier la couleur de l'éclairage en fonction du niveau de risque actuel.

Par ailleurs, l'utilisation de chemins lumineux dans le domicile serait un outil supplémentaire pour indiquer à une personne n'étant pas vigilante qu'un risque est présent sur la cuisinière et qu'elle doit réguler la situation. Selon la position de la personne dans le domicile, un chemin de sa position à la cuisine s'illuminerait pour indiquer à la personne qu'elle doit se rendre dans la cuisine.

Cependant, l'un des inconvénients majeurs de cette solution (qui se positionnerait en complément de l'installation de bandes LED sur la cuisinière) vient de la possibilité de contrôler la luminosité de l'éclairage du domicile, une fonctionnalité qui n'est pas forcément disponible dans tous les domiciles, notamment les plus anciens.

## 2.4.2 Interventions d'ordre sonore

Les interventions d'ordre sonore doivent permettre à des personnes en perte d'autonomie cognitive de pouvoir être averties de dangers qu'elles auraient peut-être ignorés dans d'autres cas en raison de leurs pathologies.

Contrairement aux alertes visuelles, les alertes sonores permettraient à des personnes non attentives, n'étant pas forcément dans la cuisine, d'être averties des risques actuels, afin d'agir pour les atténuer. Ce système d'alerte sonore pourrait être déployé dans l'ensemble du domicile, et non pas uniquement dans la cuisine. Le but de ce système est donc d'avertir la personne d'un danger en relation avec le fonctionnement de la cuisinière, dans le cas où celle-ci ne se situe pas dans la cuisine, ou bien n'a pas remarqué les indications lumineuses sur la cuisinière. En effet, la cuisson d'aliments laissée sans surveillance est très dangereuse, et est à l'origine de 40% des incendies provenant d'une cuisinière [15].

À moins d'un très grand risque imminent (par exemple, un incendie), les alertes sonores ne doivent pas être trop agressives pour la personne, mais plutôt générer un son lui permettant de se rappeler qu'un plat est en train de cuire sur la cuisinière. Elles doivent cependant pouvoir être audibles dans l'ensemble du domicile. Dans les cas les plus extrêmes, on peut imaginer une alarme sonore plus agressive, afin de signifier la gravité du risque à la personne. Ainsi, comme pour le système lumineux, l'intensité de l'intervention sonore sera graduelle en fonction du risque. Des signaux sonores pourraient également être émis lors de l'allumage et l'extinction de la cuisinière, afin de bien signaler le début ou la fin d'un potentiel risque.

La grande problématique de tout système de notification par signaux sonores vient du fait de trouver le bon son pour le bon événement. L'idéal serait que la personne puisse immédiatement comprendre la signification du signal sonore qu'elle vient d'entendre, et donc effectuer les actions préconisées le plus rapidement possible.

Il existe différents cas spécifiques où une intervention sonore pourrait être utile. Tous ces cas doivent indiquer à la personne d'être attentive quant à son utilisation de la cuisinière, tout en l'informant de la situation actuelle quant aux risques. Voici ces cas :

- Allumage d'une plaque de cuisson : dès qu'une plaque est allumée, un signal sonore est émis afin que la personne ait une confirmation de l'allumage de la plaque. Cela permet de plus de signaler à la personne que l'utilisation d'une plaque de cuisson comporte des risques et requiert de la vigilance.
- Rappel du fonctionnement d'une plaque : rappeler à l'utilisateur de la cuisinière qu'une ou plusieurs plaques sont allumées est important, afin de rappeler de façon régulière à celui-ci que des éléments dangereux sont toujours présents. Cela permet par ailleurs de rappeler à la personne d'éteindre les plaques de cuisson dans le cas où celui a oublié de les éteindre après avoir terminé son utilisation de la cuisinière.
- Risque(s) élevé(s) : Si un ou plusieurs des risques évalués par le système atteignent un niveau considéré comme à fort risque, il est important de rappeler à la personne qu'elle est potentiellement dans une situation de danger qu'elle doit agir pour se protéger. Ce cas-ci se rapproche du fonctionnement de produits déjà existant, comme des détecteurs de fumées.
- Absence de surveillance : dans le cas où aucune personne n'est présente dans la cuisine pour surveiller la cuisson, il est important de rappeler à l'ensemble des habitants du domicile qu'un plat est en train de cuire sur les plaques de cuisson, et que le laisser sans surveillance est potentiellement dangereux et risque éventuellement de générer un incendie.

Ce dernier point est sans doute le plus intéressant pour le projet Inovus. Cela implique pour le système d'être en mesure de détecter une présence humaine à proximité de la cuisinière. Seul, le système Inovus n'a pas les capacités pour effectuer cela. De plus, afin de pouvoir avertir les résidents peu importe leur position dans le domicile, l'installation de haut-parleurs (ou tout du moins d'avertisseurs sonores) dans l'ensemble du domicile est nécessaire. L'intégration du système Inovus à un système de maison intelligente devrait permettre de recevoir de données

d'autres capteurs, comme un capteur de mouvement. Par ailleurs, cette intégration permettrait également la possibilité de contrôler certains équipements connectés du domicile, par exemple l'éclairage ou d'autres équipements intelligents.

Ainsi, nous disposerions tout comme pour les interventions lumineuses de deux sous-systèmes d'interventions sonores.

#### **2.4.2.1 Au niveau de la cuisinière**

Les interventions sonores au niveau de la cuisinière auront principalement pour objectif d'informer la personne sur les actions qu'elle a effectuée. Par exemple, lorsque l'utilisateur allume une plaque, un son pourrait être généré afin de confirmer l'allumage des plaques. Un autre exemple implique la pose d'un ustensile sur une plaque chaude, ou encore l'extinction d'une plaque de cuisson.

Des sons pourraient également être générés lorsque l'utilisation de la cuisinière engendre un niveau de risque élevé ou très élevé. Un exemple serait le cas où la personne allume un rond de cuisson, mais n'y dépose pas un ustensile dessus. Les interventions lumineuses dans la cuisine sont déjà très présentes, ce qui peut rendre les interventions sonores secondaires, à moins que la personne fasse autre chose dans la cuisine que surveiller son plat en train de cuire.

#### **2.4.2.2 Au niveau du domicile**

Contrairement aux interventions sonores au niveau de la cuisinière, les interventions sonores au niveau de l'ensemble du domicile n'auraient pas pour but principal d'informer la personne sur ses actions. Au contraire, le sous-système installé sur le domicile doit rappeler à la personne d'être vigilante quant à son utilisation de la cuisinière dans le cas où celle-ci est partie faire autre chose durant la cuisson d'un plat.

Des sons doivent être générés dans le cas où il est constaté que la personne n'est plus présente à proximité de la cuisinière après un certain laps de temps, afin de lui rappeler qu'il est dangereux de laisser un plat sans surveillance et l'inciter à retourner à la cuisinière. De plus,



les interventions sonores au niveau du domicile sont une solution efficace pour informer le(s) résident(s) de la présence de risques liés à la cuisinière. En fonction du niveau de risque, l'intervention pourrait changer, en modifiant par exemple le volume sonore ou en utilisant des sons différents.

### **2.4.3 Autres types d'interventions**

Dans les cas plus graves, où les interventions proposées précédemment par le système Inovus n'ont pas eu l'effet escompté, d'autres types d'interventions doivent être envisagées. Parmi ces types d'interventions, on peut en trouver certaines déjà existantes, comme montré dans la revue de littérature de notre document.

#### **2.4.3.1 Utilisation de moniteurs**

Étant donné la très forte probabilité que la personne dispose d'au moins un écran chez elle (télévision, ordinateur, ...), leur exploitation à des fins préventives peut être étudiée. Dans les cas où la personne n'est pas vigilante quant au fonctionnement de la cuisinière, la diffusion d'un message sur un écran tel qu'un téléviseur pourrait permettre d'atteindre très facilement la personne dans certains cas. Parmi ces cas, on trouve par exemple celui où la personne oublie qu'elle a un plat en cuisson sur la cuisinière, car elle regarde la télévision.

#### **2.4.3.2 Interaction avec appareils mobiles**

Pour pallier au fait de ne pas disposer de téléviseur, une solution serait de se servir des téléphones intelligents et des tablettes tactiles comme moyen de communication avec la personne âgée. En cas d'absence prolongée de la personne auprès de la cuisinière, des notifications pourraient être envoyées par le système Inovus sur les appareils mobiles de la personne afin de l'avertir des dangers inhérents à son absence de surveillance. Ces notifications pourraient également informer la personne quant au niveau de risque actuel, afin que celle-ci puisse agir en conséquence.

Cependant, et tout comme pour l'interaction avec les écrans du domicile, la possibilité que la personne n'ait pas remarqué ces notifications sur un de ses appareils n'est pas négligeable. En effet, il se peut que la personne ne dispose pas de tels appareils intelligents, ou bien qu'elle ne s'en serve pas lorsqu'elle est chez elle, rendant le dispositif inutile. C'est pour cela que d'autres solutions sont mises en œuvre.

#### **2.4.3.3 Arrêt de la cuisinière**

L'interruption de l'alimentation électrique de la cuisinière est l'une des interventions les plus présentes dans la littérature et dans le commerce, grâce notamment à sa simplicité de mise en œuvre.

L'arrêt de l'alimentation électrique de la cuisinière est une idée intéressante, pouvant être efficace dans certains cas. La désactivation de l'alimentation peut limiter les risques d'incendies, en stoppant la chauffe des plats. Si aucune réaction de la part de l'utilisateur de la cuisinière n'est constatée après un laps de temps défini, ou bien si le risque détecté est bien trop élevé, l'alimentation électrique de la cuisinière sera stoppée, afin de protéger les biens matériels et les personnes. Cependant, si un incendie s'est déjà déclaré, l'arrêt de la cuisinière ne permettra pas d'éteindre l'incendie. Il convient donc de stopper l'alimentation électrique au bon moment afin d'obtenir un effet préventif sur les risques.

#### **2.4.3.4 Interventions d'ordre social**

Dans les cas où les solutions d'ordres technologiques ne sont pas en mesure d'assister correctement la personne, un autre type d'intervention doit être considéré. Ces interventions, qui sont plutôt de type social, font intervenir un être humain là où les interventions technologiques deviennent inefficaces. Dans notre situation, une personne pourrait intervenir auprès de la personne âgée afin de s'assurer qu'elle se porte bien, ou bien lui porter secours si nécessaire. En raison des situations parfois critiques d'intervention en lien avec le système Inovus, cela implique une certaine rapidité d'intervention de la part de l'intervenant.

Une première solution, comme évoquée dans la revue de littérature avec les travaux de Li et al. [51], serait de permettre à des aidants d'intervenir à distance pour assister la personne. À l'aide d'une caméra, l'aidant pourrait observer les activités de la personne au niveau de la cuisinière, et observer si une action à risque se produit. Dans ce cas, l'aidant indiquerait à la personne que ce qu'elle fait est à risque, et lui indiquerait une autre manière de procéder. Pour des raisons de vie privée, il est nécessaire que la personne âgée donne son accord pour cette visioconférence, et qu'elle puisse à tout moment interrompre la communication. Si une situation de risque élevé ou très élevé se produit, des indications pourraient être fournies par un aidant sur comment la personne doit procéder pour tenter d'atténuer la situation ou se protéger le cas échéant. Ces indications pourraient se faire par voie sonore. Par exemple, l'aidant pourrait demander à la personne d'ouvrir les fenêtres si un fort risque d'intoxication est détecté par le système.

#### **2.4.3.5 Appel à un réseau de bénévoles**

En s'inspirant du travail de Mallat et al., il est possible d'adapter le réseau « Assist-Me » pour des situations de risque à domicile [55]. Dans certaines situations, notamment lorsque l'on constate une non-réaction de l'utilisateur de la cuisinière aux interventions évoquées précédemment, une intervention extérieure peut être nécessaire. Une telle intervention extérieure pourrait prendre la forme d'un appel à la personne âgée ciblée par le projet Inovus. Un proche de la personne recevrait une notification de la part du système lui indiquant que la personne âgée n'a jusque-là pas réagi aux stimuli du système. Cette notification inviterait cette personne à prendre contact avec la personne âgée afin qu'il constate lui-même s'il y a un problème au domicile de la personne. S'il constate un problème, il pourra effectuer les actions qui lui semblent les plus appropriées à la situation.

Dans les cas où un proche de la personne âgée n'est pas en mesure de répondre aux notifications qui lui sont envoyées par Inovus, un bénévole étant à proximité pourrait intervenir à sa place. Parmi plusieurs bénévoles à proximité, le système basé sur « Assist-Me » choisirait les bénévoles les plus aptes à intervenir en fonction d'un algorithme analysant plusieurs critères. Parmi ces critères, on trouve la distance, leurs compétences (en premier secours par exemple), ou encore la réputation basée sur l'opinion de personnes déjà aidées auparavant. Une fois le

bénévole sélectionné par le système « Assist-Me », cette personne aura le même rôle que le proche de la personne âgée ciblée, c'est-à-dire prendre contact avec la personne âgée et s'assurer que tout va bien, puis prendre les actions appropriées selon lui.

L'interaction du système Inovus avec le système « Assist-Me » implique plusieurs ajouts au fonctionnement du réseau de bénévoles. Auparavant, quatre risques majeurs étaient définis pour les personnes âgées, à savoir chute, errance, crime et problème de santé. Pour ces quatre cas, trois niveaux de risques sont disponibles. Dans le cas d'Inovus, c'est notre système qui enverra directement le signal de détresse à « Assist-Me ». L'application pour téléphone intelligent destinée aux personnes âgées n'est pas nécessaire dans notre cas. Un cinquième risque devra donc être ajouté afin de correspondre au mieux à la situation correspondant aux problématiques d'Inovus.

Par ailleurs, le risque ajouté avec le système Inovus est un risque fort différent des quatre autres. En effet, contrairement aux risques précédents, ce nouveau risque est un risque qui ne peut se produire qu'à un seul endroit, à savoir au domicile de la personne âgée. Ce changement implique que le proche de la personne n'est pas forcément la meilleure personne à contacter en premier. Il est possible cette personne peut vivre relativement loin de la personne âgée. Ainsi, notifier en premier un des voisins de la personne âgée serait plus judicieux, étant donné la proximité de celui-ci avec l'utilisateur du système Inovus. C'est pourquoi l'ajout d'une troisième catégorie d'intervenant, les voisins, que « Assist-Me » notifierait en priorité, devrait être ajoutée afin de bien correspondre aux besoins du système Inovus. L'intervention des voisins serait bien plus rapide que n'importe quelle intervention provenant d'autre bénévoles, et la personne âgée se sentirait plus en confiance, car elle connaît qui sont ses voisins.

Couplé aux autres interventions, le système « Assist-Me » devrait permettre de prévenir la majorité des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière. Dans le cas où un risque trop élevé s'est tout de même déclaré, un voisin, un proche de la personne âgée ou bien un bénévole pourra intervenir et effectuer les actions qui lui semblent appropriées afin de secourir et assister au mieux la personne âgée. Dans tous les cas, le voisin, le proche ou le bénévole notifié sera une personne de confiance, étant donné que le système de réseau sélectionnera des personnes

ayant une bonne réputation de la part d'anciens utilisateurs en priorité. Enfin, il sera important de préciser au bénévole de ne pas lui-même se mettre en danger, mais plutôt d'appeler les services d'urgence qui lui semblent appropriés à la situation de la personne.

#### **2.4.4 Taxonomie des interventions**

Les interventions présentées dans ce document font partie, pour celles agissant auprès de l'utilisateur de la cuisinière, du domaine des systèmes d'informations ambiants (« ambient information system »). Tomitsch et al. proposent une taxonomie de ce domaine afin de pouvoir classer efficacement les interventions [69]. En nous basant sur leur taxonomie, nous obtenons le tableau 3, présenté page suivante, pour les interventions proposées par Inovus.

Tableau 3 - Taxonomie des interventions proposées pour Inovus

	<b>Abstraction</b>	<b>Transition</b>	<b>Niveau Notification</b>	<b>Gradient temporel</b>	<b>Représentation</b>	<b>Modalité</b>	<b>Source</b>	<b>Localisation</b>	<b>Entrée dynamique</b>
<b>Bandes LED</b>	Elevé	Moyenne	Inform	Actuel	Physique	Visuel	Locale	Privé	Moyenne
<b>Son cuisinière</b>	Elevé	Moyenne	Inform	Actuel	Physique	Auditif	Locale	Privé	Moyenne
<b>Eclairage domicile</b>	Elevé	Rapide	Attirer attention	Actuel	Intégré	Visuel	Distante	Privé	Moyenne
<b>Son domicile</b>	Elevé	Rapide	Attirer attention	Actuel	Physique	Auditif	Distante	Privé	Moyenne
<b>Notifications TV</b>	Moyen	Rapide	Interrompre	Actuel	2D	Visuel	Distante	Privé	Moyenne
<b>Notifications app. intelligents</b>	Moyen	Rapide	Interrompre	Actuel	2D	Visuel	Distante	Privé	Moyenne

Il est à noter que l'intervention sociale et l'interruption de l'alimentation électrique de la cuisinière n'ont pas été incluses dans le tableau précédent. En effet, ces deux interventions n'agissent pas directement sur l'utilisateur d'Inovus. L'interruption de l'alimentation électrique de la cuisinière n'interagit pas avec la personne âgée, mais avec la cuisinière elle-même. En ce qui concerne Assist-Me, cette intervention n'interagit pas en elle-même sur la personne âgée, mais fait entrer en contact un bénévole avec la personne âgée utilisatrice d'Inovus. Assist-Me n'a donc en soi aucun contact avec l'utilisateur.

La classification des interventions du système Inovus permet de mettre en évidence plusieurs points. Tout d'abord, afin d'être efficaces, les informations diffusées par le biais des interventions se doivent d'être facilement compréhensibles. C'est la raison pour laquelle le niveau d'abstraction des interventions est relativement haut, afin que celles-ci soient rapidement compréhensibles par des personnes âgées pouvant avoir des troubles cognitifs. Ensuite, on peut diviser les différentes interventions auprès de la personne en trois catégories : (1) les interventions informant la personne de la situation, (2) les interventions attirant l'attention sur la situation et (3) les interventions qui tentent d'interrompre l'activité actuelle de la personne. Ces trois niveaux mettent en évidence une gradation des interventions. Le système fera tout pour constamment informer la personne de la situation actuelle de la cuisinière. Si le système remarque un manquement de la part de l'utilisateur (absence de surveillance, par exemple), il tentera alors de regagner son attention en lui signalant des risques et des actions à effectuer. Enfin, si la situation à proximité de la cuisinière est proche d'être critique, alors il est primordial d'interrompre les activités de la personne pour atténuer les risques inhérents à la cuisinière.

### **2.4.5 Protocole d'intervention**

En fonction du niveau de risque et de la réactivité de la personne aux interventions, l'intervention à effectuer sera différente. En effet, certaines situations critiques, comme lorsque le niveau de risque est très élevé requièrent de prendre des décisions rapidement afin d'assurer la sécurité de la personne âgée. Le tableau 4 page suivante représente les différentes interventions à effectuer en fonction du niveau de risque global. Pour chaque niveau de risque, les interventions à effectuer sont numérotées selon leur ordre d'exécution.

Tableau 4 - Protocole d'intervention en fonction du niveau de risque

Risque	Visuelle	Sonore	Autre
Très Faible	Aucune	Aucune	Aucune
Faible	1 - Cuisine	Aucune	Aucune
Modéré	1 - Cuisine	1 - Cuisine	Aucune
Élevé	1 - Cuisine 2 - Domicile	1 - Cuisine 2 - Domicile	2 - Notif. TV + appareils mobiles 3 - Arrêt cuisinière
Très Élevé	1 - Cuisine 2 - Domicile	1 - Cuisine 2 - Domicile	2 - Notif. TV + appareils mobiles 3 - Arrêt cuisinière 4 - Intervention sociale

Les effets de chaque intervention n'y sont pas précisés, mais les effets décrits dans les paragraphes précédents tendent à monter graduellement en intensité au fur et à mesure que le niveau de risque augmente. Dans tous les cas, nous souhaitons laisser le plus d'opportunités à la personne pour réduire par elle-même la situation de risque. Les interventions ne doivent agir sur la cuisinière ou appeler de l'aide extérieure qu'en dernier recours.

## 2.5 Conclusion

Cinq niveaux de risques permettent au système Inovus de prévenir les risques liés à l'utilisation d'une cuisinière par une personne âgée en perte d'autonomie. Des solutions d'interventions auprès de la personne sont également proposées afin de l'avertir des potentiels risques et lui rappeler de rester vigilante par rapport au fonctionnement de la cuisinière. Parmi les solutions disponibles, la logique floue fut choisie en raison de sa simplicité de compréhension et de sa facilité d'évolution.



Les interventions que nous proposons d'implémenter au système Inovus doivent permettre d'informer efficacement les personnes âgées en perte d'autonomie utilisant leur cuisinière des risques liés à cette utilisation. Ces informations restent simples et donc faciles à comprendre pour des personnes ayant des troubles cognitifs légers. Ces informations sont transmises de deux façons à la personne :

- Par l'utilisation de bandes LED à proximité des ronds de cuisson, indiquant quel rond est en fonctionnement ainsi que son niveau de risque ;
- Par le biais de notifications sonores dans l'ensemble du bâtiment, permettant de rappeler à l'utilisateur que des ronds de cuisson sont en fonctionnement et que des risques sont présents. Ces notifications peuvent également servir à rappeler à la personne de constamment surveiller la cuisinière lorsque celle-ci est en fonctionnement.

Il est à noter que la détection de présence dans la cuisine est nécessaire afin d'exploiter aux mieux les capacités offertes par les notifications sonores. Cette détection permettra de savoir si un plat est laissé sans surveillance. Étant donné qu'Inovus ne gère pas la détection de présence, une intégration à un système de gestion de maison intelligente doit être envisagée.

Ces deux méthodes d'interventions ont pour objectif d'informer la personne afin de prévenir les risques d'utilisation de la cuisinière. Dans les cas où cette prévention n'a pas fonctionné, il est nécessaire d'agir directement sur l'environnement et la source du risque pour s'assurer de la sécurité de la personne et la protéger. Deux solutions sont proposées :

- L'interruption de l'alimentation électrique de la cuisinière : cela permet de cesser la chauffe des plaques de cuisson et donc d'empêcher un potentiel incendie, dans le cas où le plat est laissé sans surveillance et que l'incendie n'est pas déjà déclaré.
- L'intervention de bénévoles auprès de la personne âgée. Cela requiert l'utilisation (et des ajouts) des outils proposés pour le projet « Assist-Me ». Dès lors que les autres interventions n'ont pas été efficaces, le système Inovus fait appel au système « Assist-Me » afin de trouver le bénévole le plus apte à venir aider la personne.

Toutes ces interventions ont pour objectif la protection de la personne dans une activité de la vie quotidienne qu'est cuisiner. Il existe cependant des limites à ces interventions en fonction du domicile où est installé Inovus. La simplicité d'installation du système, à la base prévue pour être installée sur tout type de cuisinière électrique, est quelque peu remise en cause avec l'ajout d'interventions sur l'ensemble du domicile.

# **Chapitre 3**

## **Expérimentations**

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, il est nécessaire de procéder à des expérimentations en conditions réelles afin de perfectionner le fonctionnement du module de raisonnement. Les expérimentations sont également nécessaires afin de valider l'approche proposée par le biais des différentes interventions auprès de la personne utilisatrice de la cuisinière. Ce chapitre va notamment présenter les résultats de l'expérimentation visant à valider le fonctionnement du prototype. C'est en effet la seule expérimentation effectuée au moment de l'écriture de ce document.

### **3.1 Validation de la chaîne d'acquisition**

Le module de raisonnement utilisé par Inovus récupère les données des différents capteurs installés avec le système afin de déterminer le niveau de chacun des risques identifiés. Grâce à cela, des interventions adaptées à la situation pourront être effectuées auprès de l'utilisateur de la cuisinière.

Au vu de l'avancement actuel du projet, le prototype qui est utilisé pour les expérimentations se limite à la surveillance d'un seul rond. De plus, la hotte n'est pas mise en fonction, afin d'éviter d'éventuelles perturbations externes. Ceci est effectué dans le but de se rapprocher le plus possible des expérimentations précédentes du projet, effectuées par Thomas Tessier. Éventuellement, d'autres expérimentations similaires peuvent être effectuées, avec par exemple la hotte en fonctionnement. Cela permettrait de vérifier si la luminosité accrue apportée par la hotte ainsi que la ventilation ont une influence sur les données récupérées par les capteurs.

Deux types d'expérimentations sont mises en œuvre. Les premières expérimentations ont pour but l'optimisation du fonctionnement du module de raisonnement. Dans ce cas-là, les données

des capteurs sont récupérées et stockées dans un fichier de type CSV (« Comma Separated Values »). Cela permet de disposer en tout temps de données fiables provenant de situations réelles. C'est en se basant sur ces données que nous disposons des moyens d'optimiser le raisonnement du module de raisonnement.

Pour effectuer cela, nous n'utilisons pas l'ensemble du programme Inovus. En se référant à ce qui a été présenté dans la partie de ce document présentant la plateforme logicielle, on peut observer trois sous-systèmes composant le programme. Pour ces expérimentations, le sous-système de gestion des capteurs et le sous-système de logique floue sont utilisés. Ces deux sous-systèmes sont légèrement modifiés afin que : (1) le sous-système de gestion des capteurs sauve ses données dans un fichier CSV, et (2) le sous-système de logique floue puisse récupérer les données des capteurs du fichier CSV précédent et les traiter.

Les données sont stockées dans le fichier CSV dans le format suivant, une ligne représentant une trame :

N°Trame ; Horaire ; MLX90614\_Hotte ; MLX90614\_Côté ; SRF02 ; HIH1 ; MICS5524 ; TGS2620 ; TGS5042

Ultérieurement, le sous-système de logique floue modifié traite ces données avec le module de raisonnement. Son fonctionnement consiste à lire le fichier CSV créé par le programme précédent, et d'utiliser les données qui y sont contenues comme entrées du module de raisonnement. Le résultat du traitement des données des capteurs par le module de raisonnement est stocké dans un second fichier CSV. Les données récoltées par les capteurs ne sont pas modifiées et restent dans leur fichier CSV, ce qui permet une réutilisation simple de celles-ci pour d'autres tests. Cela autorise des modifications rapides du module de raisonnement sans avoir à effectuer les tests à nouveau. Il est à noter que pour cette étape, la gestion des interventions a été laissée de côté.

Les données récupérées doivent représenter au mieux l'ensemble des situations pouvant se présenter dans des conditions réelles. Ces situations comprennent des situations de tout niveau de risques, du niveau le plus faible au plus élevé. Cependant, au vu de l'environnement où s'effectuent les tests (une cuisinière simple dans un environnement de cuisine classique),

certaines conditions de sécurité ne peuvent être assurées pour les expérimentateurs. De ce fait, un incendie ne pourra pas être déclaré durant les expériences, et les conditions propices à sa déclaration ne sont pas atteintes. Il en va de même pour tous les autres risques approchant un niveau très élevé. Tout comme pour le risque d'incendie, nous ne sommes pas en mesure de générer des conditions propices à une intoxication lors de nos expérimentations.

### **3.1.1 Présentation des conditions expérimentales**

L'ensemble des expérimentations présentées dans ce document ont été effectuées sur une cuisinière électrique de marque General Electric. C'est une cuisinière disposant de quatre ronds de cuisson répartis sur une plaque vitrocéramique noire. La cuisinière dispose également d'un four, et une hotte, fournissant une ventilation et un éclairage, est positionnée au-dessus des ronds. Si la hotte ne dispose pas de voyants lumineux, la cuisinière en dispose pour tous ses éléments. La cuisinière est même dotée d'un voyant lumineux indiquant que la plaque vitrocéramique est chaude, même si les ronds sont éteints. Ce voyant n'indique toutefois pas quels sont les ronds concernés par cette haute température. La figure 13 page suivante présente la cuisinière avec la casserole utilisée pour nos tests. La partie latérale du système Inovus est également visible sur la gauche, avec les fils étant reliés aux capteurs positionnés dans la hotte.



Figure 13 - Cuisinière utilisée pour nos expérimentations

L'avancement du projet Inovus ne permet pas pour le moment de savoir l'état de la cuisinière, c'est-à-dire quels sont les ronds de cuisson allumés ou non. De plus, le prototype ne prend en charge pour le moment qu'un seul rond de cuisson. Nous avons donc décidé de procéder à nos expérimentations sur le rond de cuisson au fond à gauche de la cuisinière, qui est l'un des plus grands. C'est en effet l'endroit où il était le plus simple pour nous d'effectuer les mesures, en raison de la petite taille de la hotte. Pour les tests, deux ustensiles ont été utilisés : une casserole (visible sur l'image précédente) et une poêle. Les deux ustensiles sont de couleur noire. Si la poêle occupe toute la surface du rond de cuisson, la casserole est légèrement plus petite que le rond, ce qui peut causer d'éventuelles perturbations pour le capteur de distance (fonctionnant avec des ultrasons) et les capteurs de température (fonctionnant grâce aux rayons infrarouge).

Comme présenté précédemment dans ce document, les capteurs du projet Inovus sont répartis sur le côté de la plaque de cuisson et au-dessus de celle-ci. Les capteurs sont installés sur des plaques de prototypage. Nous avons donc une petite plaque de prototypage pour les capteurs

latéraux et une plaque plus grande pour les capteurs de la hotte. Sur la figure 14, la plaque latérale est visible avec ses deux capteurs.



Figure 14 - Vue rapprochée des capteurs latéraux en fonctionnement

Pour simplifier le câblage, le Raspberry Pi est relié directement à la plaque de prototypage de la hotte, grâce à un long câble nappe (un mètre de longueur). De plus, les capteurs analogiques (capteurs de gaz et d'humidité) nécessitent que leurs données soient directement transférées au convertisseur analogique-numérique. Un fil supplémentaire pour chaque capteur analogique est donc nécessaire. Enfin, la communication avec la plaque de prototypage latérale doit également être établie. Pour ce faire, cinq fils relient cette plaque à la plaque située sous la



hotte, elle-même reliée au Raspberry Pi. Ces fils sont les suivants : 5V, 3V, GND, SDA et SCL. La figure 15 présente la plaque de prototypage fonctionnelle installée sous la hotte. La plaque est soutenue par des supports métalliques collés à la hotte.

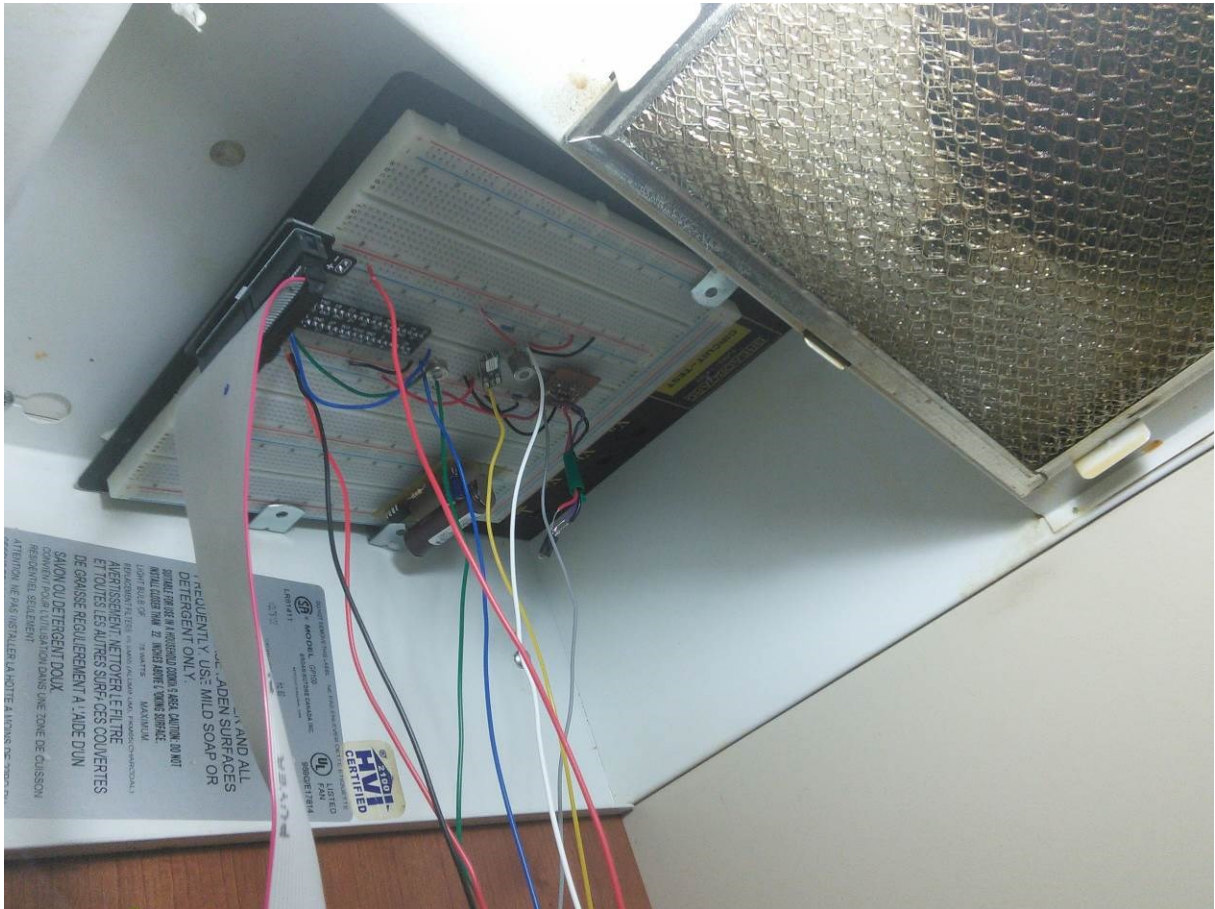


Figure 15 - Vue rapprochée des capteurs de la hotte en fonctionnement

Tout comme les tests effectués précédemment, le système Inovus apporte encore une gêne pour l'utilisateur, surtout par le biais des capteurs latéraux. Ceux-ci occupent en effet de la place sur le plan de travail et peuvent accidentellement être endommagés par la personne utilisatrice de la cuisinière. Néanmoins, pour une utilisation expérimentale telle que la nôtre, la gêne reste minime.



La documentation du capteur de température que nous utilisons indique que l'émissivité des ustensiles et de la cuisinière doivent être mesurés afin de calibrer le capteur. Heureusement, il a été constaté que les ustensiles et la cuisinière avaient tous trois une émissivité de 1, ce qui ne nécessitait pas d'ajustements conformément à ce qui est indiqué dans la documentation du capteur MLX90614 [64].

### **3.1.2 Présentation des expérimentations**

Notre environnement de test n'est pas équipé pour des tests présentant un niveau de risque trop élevé. Nous nous sommes donc limités à des tests qui n'atteignent pas le niveau de risque « Très élevé » pour une durée plus longue qu'un court instant. Six expérimentations différentes ont été effectuées, censées représenter des situations où aucun risque n'est présent à des situations où le risque est élevé.

Trois tests consistaient à vérifier la réaction des capteurs à la présence d'un ustensile (rempli ou non) sur la cuisinière, celui-ci n'étant pas chauffé. Un test consistait à vérifier la situation lorsqu'une plaque est allumée sans aucun ustensile dessus. Une autre expérimentation visait à déterminer la réaction du système Inovus à la cuisson rapide d'un filet d'huile dans une poêle. Enfin, un test consistait à faire cuire des pâtes de façon normale.

Il est à noter que le jour où les expérimentations ont été effectuées, la température était d'environ 27°C, avec une température ressentie aux alentours de 34°C, soit un taux d'humidité dans l'air relativement élevé.

### **3.1.3 Présentation des résultats**

Les tests que nous avons effectués nous ont permis de constater des défauts sur certains capteurs, tels que le capteur de distance ou le capteur d'humidité.

Les trois premiers tests (sans chauffe) ont permis d'observer le fait que le capteur de distance SRF02 est très sensible à l'environnement. En effet, la pose d'un ustensile vide, telle que la casserole, retourne généralement une distance comprise en 60 et 100 cm, alors que l'ustensile

est positionné à moins de 20 centimètres du capteur. Cependant, une fois l'ustensile rempli (nous avons à moitié rempli la casserole d'eau), la distance mesurée chute à 30 centimètres. Ceci pourrait être dû à l'utilisation d'ultrasons. Les ondes pourraient se réverbérer plus facilement dans une casserole vide que dans une casserole pleine.

### 3.1.3.1 Cuisson à vide

Le test de chauffe à vide d'une plaque de cuisson nous a permis d'observer le fonctionnement des capteurs de température et d'humidité. La plaque est laissée en train de chauffer sur le thermostat 5 (sur 10 au total) pendant cinq minutes, avant de la laisser refroidir quatre minutes. La figure 16 présente les valeurs retournées pour ces capteurs, respectivement en degrés Celsius et en taux d'humidité (%). L'ordonnée représente le numéro de la trame de données reçue. Les données reçues par les capteurs sont actualisées toutes les 8 secondes.

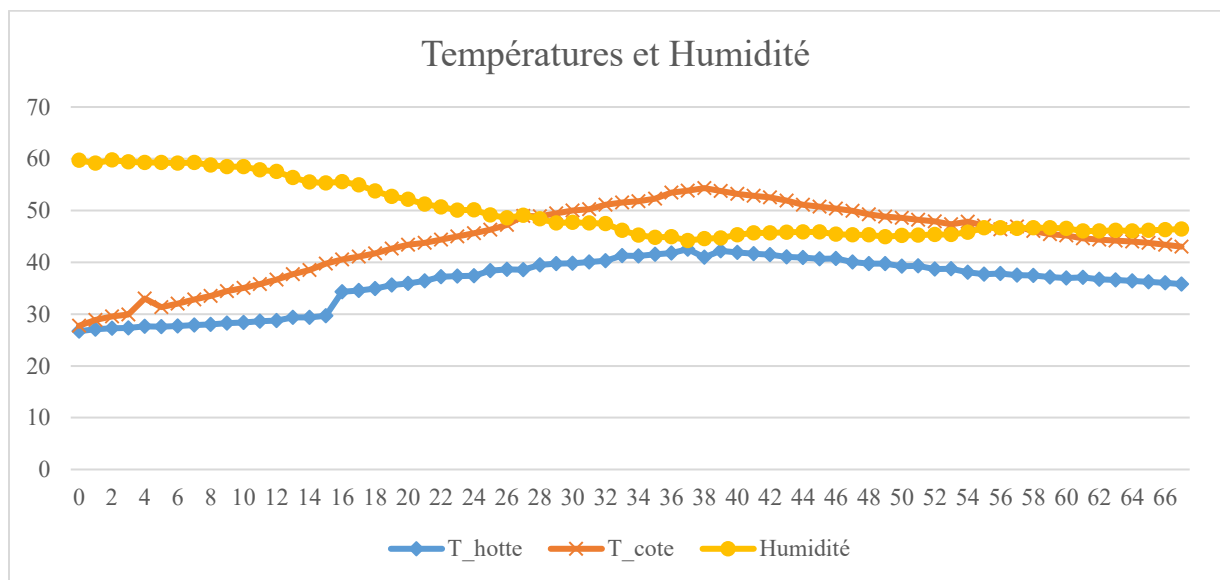


Figure 16 - Evolution des températures et de l'humidité pour la cuisson à vide

La chauffe de la plaque de cuisson, en plus de faire grimper la température des deux capteurs de température, réduit également le taux d'humidité au-dessus de la plaque, passant de 60% à 44%. On peut clairement observer le moment où la chauffe a été interrompue, au niveau de la trame 38. La température mesurée sur le côté atteint son maximum (54°C) à cette trame, tandis

que la température de la hotte atteint 44°C. Les deux températures commencent à baisser immédiatement après l'arrêt de la chauffe, pour atteindre à la fin de l'expérimentation respectivement 43°C et 36°C. Concernant le taux d'humidité, celui-ci ne remonte presque pas, ne gagnant que 2%.

### 3.1.3.2 Cuisson d'huile

Le test de cuisson d'huile nous a également apporté de nombreuses informations sur les capteurs, notamment les capteurs de gaz. Deux cuillères à soupe d'huile de maïs ont été déposées dans une poêle. La poêle est positionnée sur le rond de cuisson qui débute la cuisson au thermostat maximal. L'expérimentation est stoppée après quatre minutes car les limites de notre environnement de test étaient atteintes. En effet, de la fumée est apparue à partir de 2 minutes 15. Il est possible d'observer cet événement grâce aux courbes d'évolutions des concentrations de gaz VOC et d'alcool, comme montré sur la figure 17. Les concentrations sont exprimées en mV.

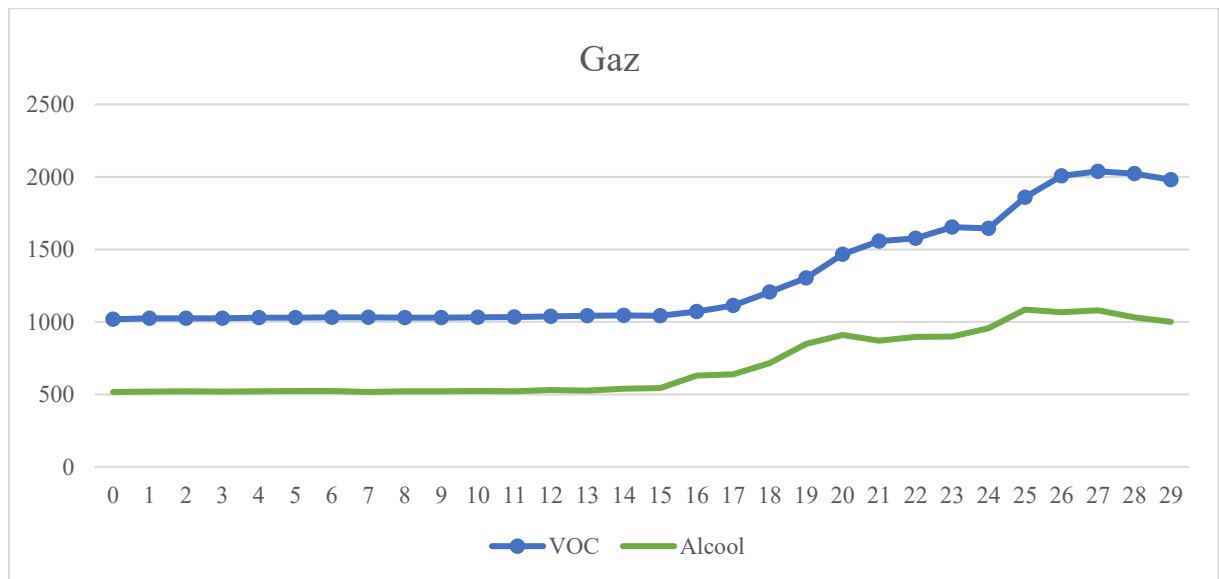


Figure 17 - Évolution de la concentration en VOC et alcool pour la cuisson d'huile

Les émanations de fumées observées débutent à partir de la trame 18, soit juste avant une augmentation drastique de la concentration en gaz. En effet, pour les deux gaz, le voltage

retourné double. On peut donc en déduire que les émanations de gaz sont bel et bien des paramètres efficaces pour la prévention des incendies.

Les températures et le taux d'humidité se comportent de façon similaire au test effectué précédemment. La figure 18 montre l'évolution de leur état.

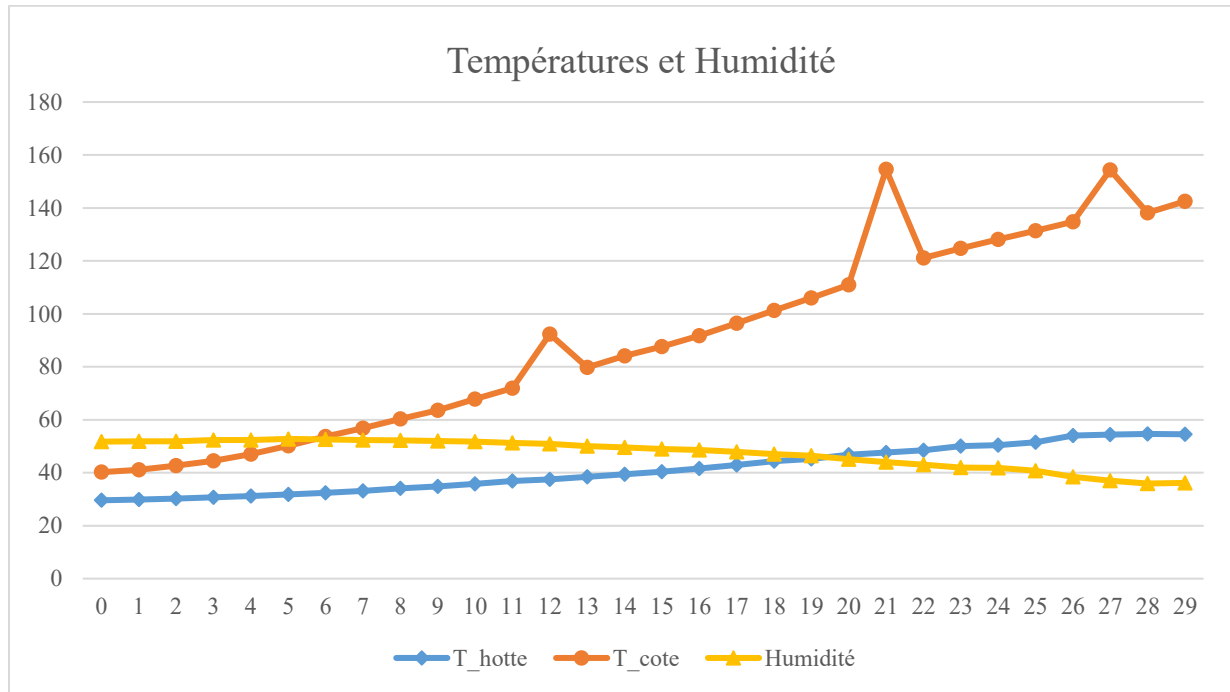


Figure 18 - Évolution des températures et de l'humidité pour la cuisson d'huile

Si la température relevée au niveau de la hotte semble très basse, la température relevée au niveau du côté de la plaque de cuisson est très élevée et bien plus proche de la réalité. Celle-ci passe de 40°C au début de l'expérimentation à 142°C à la fin. On peut également observer trois pics sur la courbe T\_côté. Ceux-ci sont dus au fait que la personne procédant aux expérimentations a brassé la poêle à ce moment-là afin de répartir l'huile uniformément. Concernant la température relevée au niveau de la hotte, celle-ci passe de 29°C (proche de la température ambiante), à 55°C. La différence de température avec celle relevée sur le côté vient de la distance avec la source de chaleur. Enfin, comme pour l'expérimentation précédente, le taux d'humidité diminue au fur et à mesure que la température augmente, en baissant de 15%.

### 3.1.3.3 Cuisson de pâtes

Enfin, la dernière expérimentation effectuée consistait à cuire des pâtes. Au total, l'expérimentation a duré 20 minutes. Il est à noter que la casserole n'avait pas de couvercle, et qu'elle est plus petite que le rond de cuisson.

Le tableau 5 résume les événements s'étant produits durant la cuisson des pâtes :

Tableau 5 - Évènements lors de la cuisson des pâtes

Temps	Trame	Etat
1min55s	14	Bulles au fond de la casserole
3min44s	28	Ebullition
3min45s	29	Baisse du thermostat à 5
3min55s	30	Mise à l'eau des pâtes
14min00s	105	Fin cuisson

Voici ensuite sur la page suivante la figure 19 le graphe des températures relevées et du taux d'humidité mesuré.

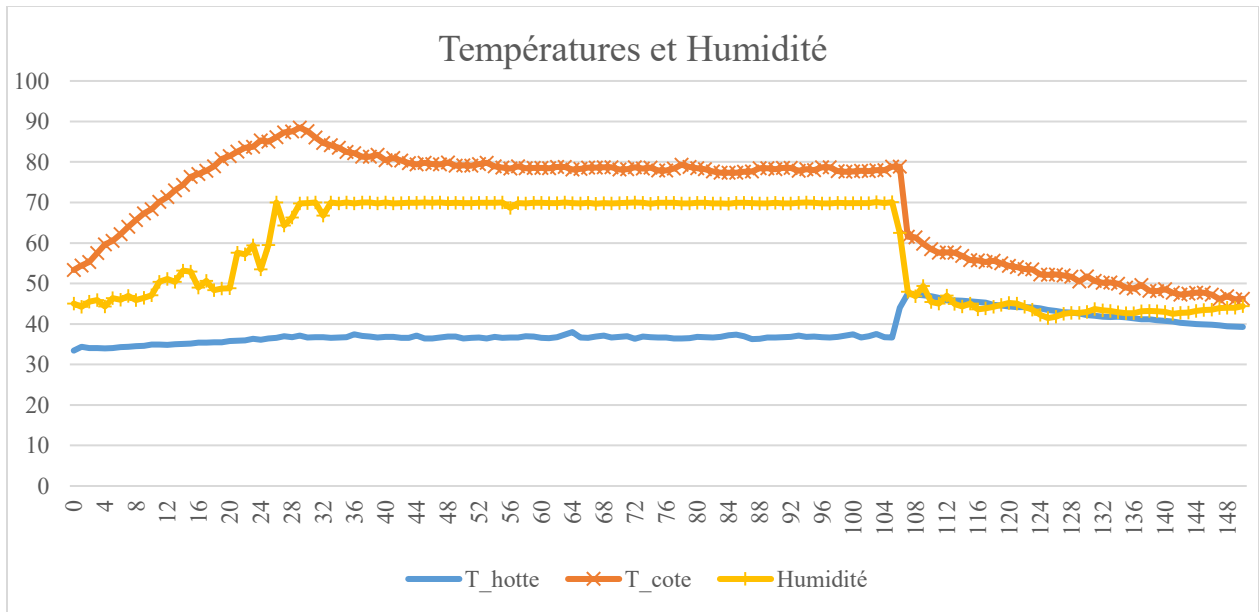


Figure 19 - Évolution des températures et de l'humidité lors de la cuisson de pâtes

La température relevée sur le côté de la plaque permet de suivre les événements de la cuisson. La température monte rapidement jusqu'à 88°C, au moment où l'eau se met à bouillir et les pâtes sont mises à l'eau. Bien que la température de l'objet à ce moment soit supposée être à 100°C, ce résultat reste cependant relativement proche de la réalité. C'est également le moment où le thermostat passe de maximum au niveau 5. On observe donc ensuite une légère baisse de la température puis une stabilisation aux alentours de 78°C tout au long de la cuisson. Une fois la cuisson terminée, la casserole retirée et la chauffe interrompue, la température chute soudainement à 62°C, puis baisse progressivement jusqu'à atteindre 45°C. Cette baisse soudaine est dû au fait que le capteur de température ne peut plus cibler l'ustensile, qui n'est plus là.

Concernant la température mesurée par le capteur de la hotte, les résultats semblent moins normaux. En effet, durant toute la présence de la casserole sur le rond de cuisson, la température reste stable à 36°C. Dès que la casserole est retirée de la plaque de cuisson (et que la chauffe est interrompue), la température grimpe à 47°C, avant de redescendre progressivement pour atteindre 39°C. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. Tout d'abord, le capteur est positionné

à environ 60 centimètres de la plaque de cuisson. D'après la documentation du capteur, cela signifie donc que le capteur mesure la température sur un diamètre de 60 cm, soit bien plus que le seul rond ciblé. De plus, il est possible que le champ de vision du capteur ait en partie été obstrué par l'installation du système Inovus, notamment le câble nappe. Enfin, il est également possible que la vapeur d'eau ait pu perturber les mesures de température au niveau de la hotte.

L'analyse du taux d'humidité est également intéressante. On constate que celui-ci reste constant à 70% du moment où l'eau bout jusqu'à ce que la cuisson soit terminée, avant de redescendre très rapidement dès le retrait de la casserole. Cependant, il est possible qu'un problème soit présent. En effet, le taux d'humidité devrait théoriquement atteindre 100%, étant donné l'évaporation importante d'eau. L'une des raisons de cette erreur pourrait venir d'une mauvaise calibration du capteur, ou bien du fait que celui est relativement âgé et soit resté à l'air libre un certain temps avant son utilisation. Malgré ce problème, il est toujours possible d'observer les différentes actions se produisant lors de la cuisson des pâtes par le biais du taux d'humidité.

Enfin, pour ce qui est de l'émanation de gaz, les résultats sont moins intéressants que précédemment. La figure 20 montre les émanations de VOC et d'alcool.

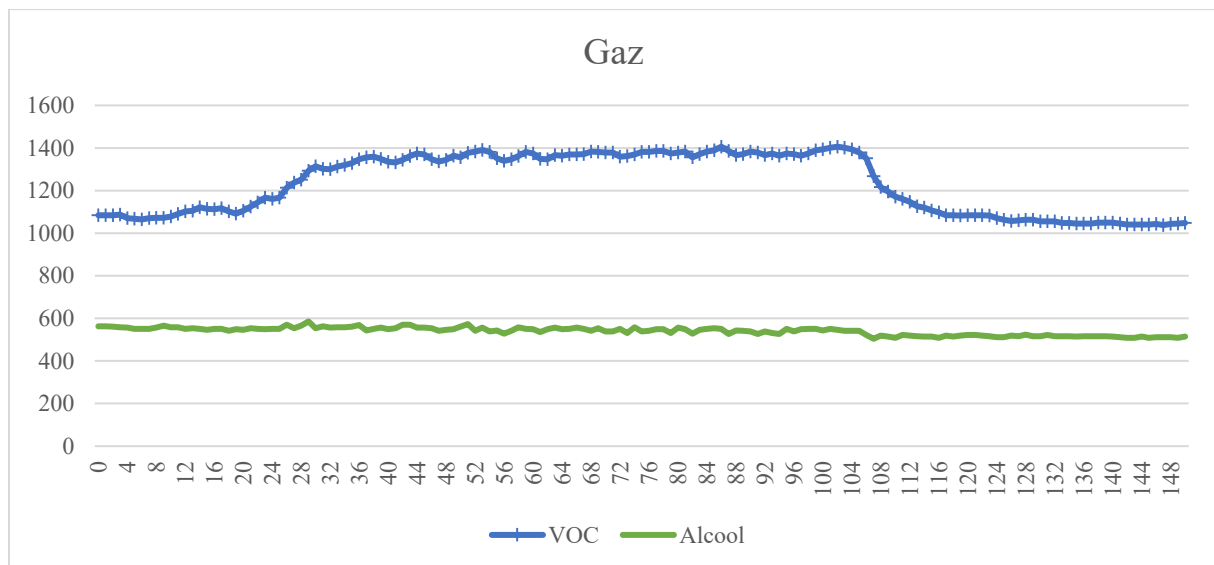


Figure 20 - Évolution de la concentration en gaz VOC et alcool lors de la cuisson de pâtes

On constate que la concentration en alcool reste constante, tandis que la concentration en VOC augmente légèrement durant la cuisson des pâtes, avant de retrouver son niveau original à la fin de la cuisson.

### 3.1.3.4 Le cas du capteur de distance

Un capteur a cependant posé problème : le capteur de distance. En effet, les valeurs retournées par ce capteur durant nos expérimentations se sont tous révélées trop variables pour être utilisables. Les résultats de l'évaluation de la distance pour l'expérimentation sur la chauffe de l'huile dans une poêle sont visibles sur la figure 21.

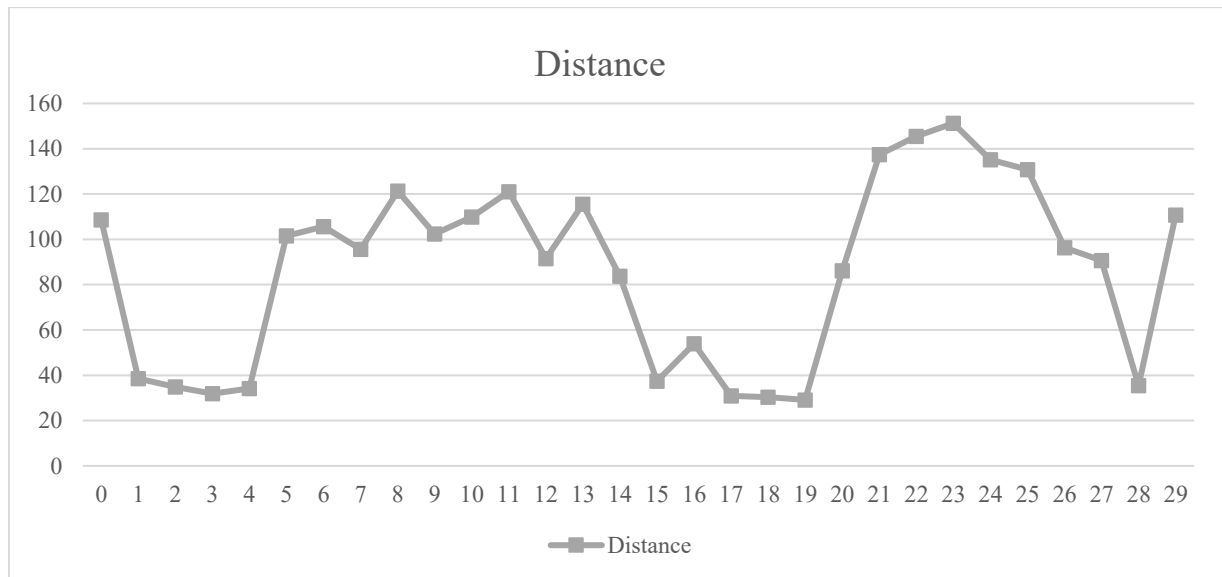


Figure 21 - Évolution de la distance lors de la cuisson d'huile

On voit facilement ici que les résultats varient de 108 cm à 30 cm, alors que durant toute la durée de l'expérimentation la poêle est restée sur le rond de cuisson. Il est à noter que notre programme prend déjà 60 échantillons avant de retourner un résultat pour ce capteur. Nous nous sommes de plus assurés que le capteur était bien fixé de façon horizontale et ciblait effectivement l'ustensile.



Des résultats similaires sont observables sur la figure 22, représentant les valeurs retournées par le capteur de distance lors de la cuisson des pâtes.

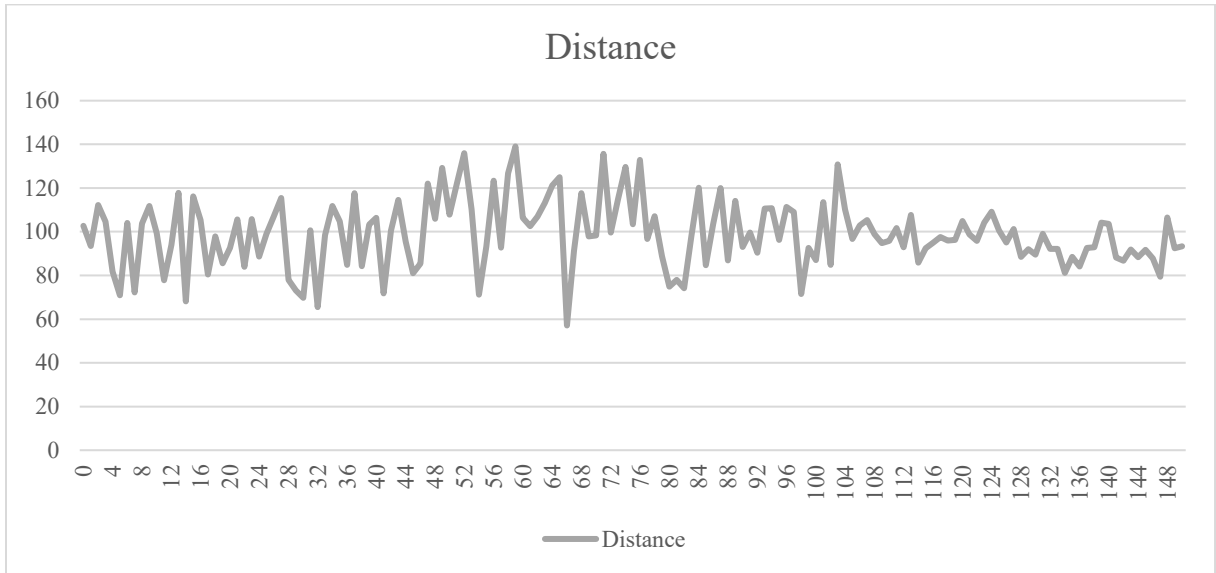


Figure 22 - Évolution de la distance lors de la cuisson de pâtes

Là aussi, dès lors que la plaque de cuisson est en fonctionnement, les données ne sont absolument pas fiables. Par contre, dès lors que la plaque est éteinte et que la casserole est retirée, les données semblent plus proches les unes des autres, et aussi plus proches de la réalité (il n'y plus rien sur la cuisinière). Étant donné que le capteur SRF02 utilise les ultrasons pour estimer la distance, et que ces ondes sont très sensibles aux variations de température, il est fort probable que la température influe sur les données que nous recevons. De plus, la casserole utilisée est d'un diamètre moindre au rond de cuisson, ce qui peut également influencer sur le résultat retourné par le capteur.

Comme évoqué au début de ce chapitre, nous avons donc mesuré la distance entre la casserole et le capteur lorsque la plaque était froide, tout comme l'ustensile (qui était rempli d'eau). Les résultats du graphe présent sur la figure 23 page suivante montrent des valeurs bien plus proches de la réalité.

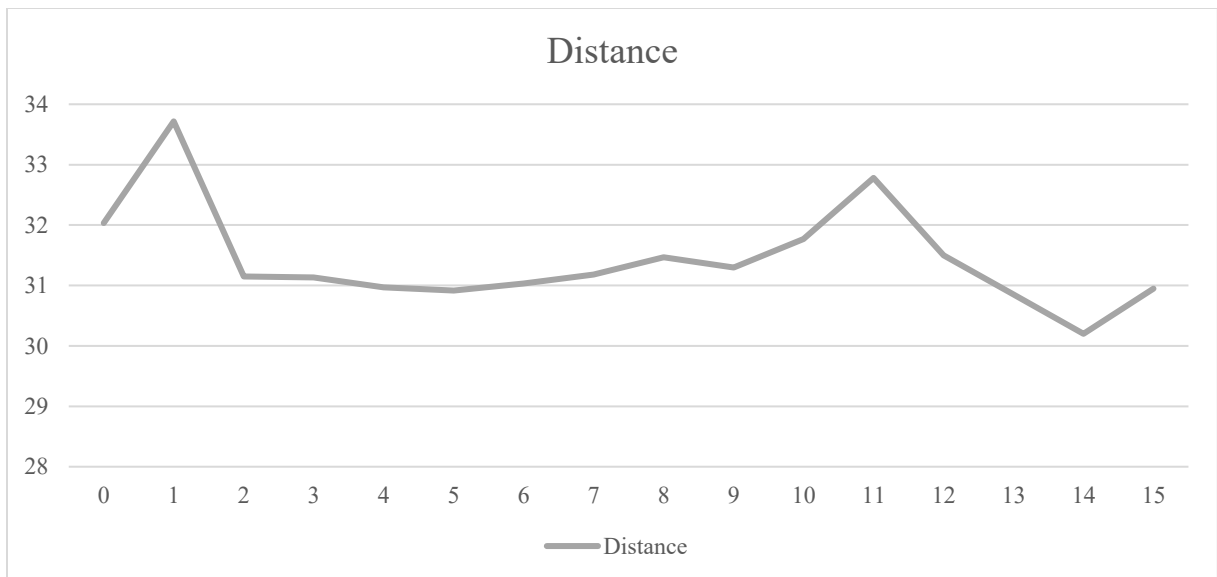


Figure 23 - Évolution de la distance lors de la présence d'une casserole froide

Bien que le capteur de distance soit plutôt à une distance de 15 centimètres de la casserole, les données retournées par ce test montrent des résultats bien plus réguliers, variant au plus d'un ou deux centimètres. Cela montre donc que de fortes chaleurs, ainsi que la contenance de l'ustensile peuvent grandement perturber le résultat du capteur de distance.

On constate donc que si le capteur permet de détecter correctement la présence d'un ustensile sur une plaque de cuisson à froid, il ne permet en aucun cas de déterminer efficacement dans la présence d'un ustensile lors de la cuisson. Les perturbations affectent grandement le résultat et empêchent l'obtention de données cohérentes. Ce capteur n'est donc pas utilisable dans les conditions actuelles.

### 3.1.3.5 Conclusion

Nos tests, bien que ne représentant pas l'ensemble de ceux effectués précédemment pour Inovus, ont montré que la majorité des données retournées par les capteurs étaient pertinentes. Elles permettent d'identifier efficacement différentes situations d'utilisation de la cuisinière, et notamment des situations de risques, telles qu'une huile sur le point de prendre feu. Toutefois,

la gestion de certains capteurs est à revoir, notamment le capteur d'humidité, mais surtout le capteur de distance, bien trop sensible aux variations de températures.

## **3.2 Validation du module de raisonnement**

Nous avons utilisé les données que nous avons récoltées afin d'obtenir les niveaux de risque retournés par le module de raisonnement. Nous avons utilisé le module de raisonnement sur les deux expérimentations retournant les résultats les plus intéressants, à savoir la cuisson d'huile et la cuisson de pâtes. L'observation des expérimentations nous a permis de déterminer à quel moment nous considérerions qu'une situation devenait dangereuse. Il apparaît également que ces situations sont également visibles sur les graphes retournés. En se basant sur cela, il nous est possible d'optimiser le module de raisonnement afin d'obtenir des niveaux de risques pertinents en fonction de la situation actuelle, en modifiant les règles linguistiques de fonctionnement du module et les seuils des fonctions membres.

### **3.2.1 Définition des seuils de risque**

#### **3.2.1.1 Cuisson de pâtes**

Les seuils, dont ceux qui ont été définis sont présentés dans le tableau 6, permettent de définir les limites de toute fonction membre, que celle-ci soit en entrée ou sortie du module de raisonnement. Dans notre cas, le plus gros du travail de définition des seuils de risque est à effectuer sur les variables d'entrées. Nous avons défini nos seuils en fonction de nos observations provenant des expérimentations, ainsi que de l'analyse de leurs résultats.

Un exemple d'observation pertinente pour l'ajustement vient de l'expérimentation provenant de la cuisson des pâtes. La température de l'ustensile ( $T_{\text{coté}}$ ) atteint son pic à la trame 28, c'est-à-dire au moment où l'eau est en train de bouillir. C'est également à ce moment-là que le taux d'humidité se stabilise à son niveau le plus haut. L'ébullition de l'eau est un facteur de risque important. La projection d'eau chaude est possible, tout comme l'émission de vapeur

chaude, pouvant risquer de brûler la personne. Par ailleurs, l'eau peut se mettre à déborder de l'ustensile, requérant une intervention urgente de la part de la personne, intervention où elle risque de se brûler. Ainsi, pour cette situation spécifique, le niveau de risque à ressortir doit être cohérent avec le danger présent pour l'utilisateur. Nous avons décidé de considérer que la température de l'ustensile au moment de l'ébullition (atteignant à son maximum 88°C) faisait partie de la fonction membre « Chaud » pour l'ensemble flou de la variable « T\_coté », et que le taux d'humidité au même moment (et sur toute la durée de la cuisson des pâtes) faisait partie de la fonction membre « Humide » pour l'ensemble flou de la variable « Humidité ».

Une autre observation pouvant être tirée de l'expérimentation de la cuisson des pâtes provient de la régularité des données retournées par les capteurs lors de la cuisson des pâtes, soit de la trame 34 à la trame 105. L'ensemble de cette expérimentation a été pensée pour reproduire une situation où la personne âgée est restée vigilante tout au long de son utilisation de la cuisinière. Nous avons précédemment défini que le niveau de risque « modéré » correspond à une situation de risque modéré, où la personne utilise sa cuisinière en restant vigilante. Durant cette période, la température de l'ustensile reste stable aux alentours de 78°C, tout comme l'humidité restant à 70%. Si l'émission d'alcool reste inchangée tout au long de l'expérimentation, on constate que l'émission de gaz VOC augmente et se stabilise autour de 1380mV tout au long de la cuisson des pâtes.

Nous considérons donc cette situation, où les pâtes sont dans l'eau en train de cuire, comme une situation de risque modérée. La température de l'ustensile est réduite comparée au moment de l'ébullition, perdant 10°C. Cet écart de température peut également définir les seuils pour le paramètre « T\_coté ». 78°C se trouverait plutôt dans la fonction membre « modéré », tandis que nous avons déjà déterminé dans le paragraphe précédent que 88°C était dans la fonction membre « Chaud » de « T\_coté ». De plus, on constate une élévation du niveau de gaz VOC durant la cuisson des pâtes, avant de rechuter à son niveau de départ. Nous déterminons donc que le niveau de départ et de fin du gaz VOC (les deux se situant aux alentours de 1050mV) correspond à la fonction membre « Faible » de l'ensemble flou d'entrée « VOC », tandis que le niveau observé durant la cuisson des pâtes correspond à la fonction membre « Modéré » du

même ensemble flou. Au vu de la température de l'ustensile au début de l'expérimentation (quand la casserole est sur la plaque) et à la fin (la casserole est retirée de la plaque), on peut considérer que la température est dans la fonction membre « faible ».

Moritz et al. ont étudié les effets des brûlures [71]. Les auteurs constatent qu'une brûlure traversant la peau peut se produire en moins d'une seconde lorsque la température de contact est supérieure à 70°C, et des brûlures peuvent se produire dès 51°C. En se basant sur ces données, nous avons décidé de définir que la fonction membre « modéré » de « T\_côté » débiterait aux environs de 65°C, seuil où se terminerait la fonction membre « Froid ».

Étant donné la grande présence d'eau durant l'expérimentation, on peut en déduire que le risque d'incendie reste limité, tout comme l'est le risque d'intoxication. En ce qui concerne le risque de brûlure, il existe un risque d'ébouillement en raison de la température de l'eau, notamment au moment où l'eau est en train de bouillir et à la mise à l'eau des pâtes.

### **3.2.1.2 Cuisson d'huile**

La cuisson de pâtes nous a permis de trouver les seuils pour plusieurs fonctions membres de plusieurs ensembles flous d'entrée. De plus, l'expérimentation sur la cuisson d'huile apporte aussi des données permettant de déterminer d'autres seuils.

Cela est particulièrement vrai pour les ensembles flous d'entrée « T\_côté » ainsi que les deux ensembles « VOC » et « Alcool ». Ce sont en effet là où les valeurs évoluent le plus durant l'expérimentation. Pour le cas de la température de l'ustensile, celle-ci atteint une température extrêmement élevée, apportant un fort risque d'incendie et de brûlure, que ce soit par contact avec la poêle ou bien par projection d'huile due au crépitement de celle-ci. Nous avons déjà déterminé grâce à l'expérimentation de la cuisson de pâtes que la fonction membre « Chaud » de l'ensemble « T\_côté » débutait aux alentours de 85°C. Cependant, la température de l'ustensile dans cette expérimentation grimpe jusqu'à plus de 140°C.

Étant donné que cette expérimentation est destinée à présenter un cas d'utilisation de la cuisinière où la personne n'est pas attentive (ici la personne oublie de réduire la puissance de

chauffe, et de disposer sur la poêle un morceau de viande, de poisson ou des légumes), il n'est absolument pas normal que les 140°C soient atteints. Nous avons donc défini que la fonction membre « Chaud » se termine aux alentours des 130°C, pour laisser place à la dernière fonction membre de l'ensemble d'entrée « T\_coté », à savoir « TrèsChaud ».

En ce qui concerne les émissions de gaz, celles observées durant cette expérimentation sont beaucoup plus intéressantes que l'expérimentation précédente. Pour le gaz VOC, nous avons déjà déterminé que les valeurs proches de 1400 mV se situaient dans la fonction membre « modéré ». Ici, la mesure du gaz VOC s'élève jusqu'à plus de 2000 mV. Pour ce qui est des émanations d'alcool, celles-ci ont augmenté de façon similaire au gaz VOC, passant de 500 mV à plus de 1000 mV à la fin.

Grâce à nos observations tout au long de l'expérimentation, nous avons pu observer des éléments nous permettant de déterminer que la sécurité autour de la cuisinière diminuait au fur et à mesure. L'huile commence à crépiter vers 1 minute 45, tandis que des dégagements de fumée sont visibles dès 2 minutes 15. C'est à ce moment, que nos mesures ont montré une élévation des niveaux de gaz d'alcool et VOC. Grâce aux retours de l'expérimentation précédente, nous savons que, pour l'ensemble flou « VOC », la fonction membre « Modéré » contient les valeurs aux environs de 1400 mV, tandis que les valeurs proches de 1000 mV sont contenues dans l'ensemble flou « Faible ». Nous définissons donc que le niveau « modéré » débute à 1200 mV, et se termine à 1600 mV, pour passer à l'ensemble flou « Dangereux ». Au fil de l'expérimentation, le dégagement de fumée s'intensifie, notamment à la fin, où la concentration en VOC se stabilise à 2000 mV. Nous avons arrêté peu après l'expérimentation, car l'environnement n'était pas équipé pour un tel niveau de dangerosité. Nous estimons tout de même que la fonction membre « TresDangereux » doit débiter au-dessus de 2000 mV, et donc la fonction « Dangereux » terminer à ce niveau.

Contrairement à la cuisson des pâtes, ici les concentrations de gaz VOC et d'alcool sont proportionnelles. En suivant cette proportionnalité, nous définissons pour l'ensemble flou « Alcool » que la fonction membre « modéré » débute aux alentours de 600 mV pour se

terminer à 800 mV. La fonction membre « Dangereux » débute à ce niveau, et se termine à 1000 mV pour laisser place à la fonction « TresDangereux ».

### 3.2.1.3 Résumé des seuils définis

Les expérimentations nous ont permis de définir des seuils pour plusieurs variables d'entrées. Cependant, les données récupérées ne nous permettent pas de définir efficacement des seuils pour tous ensembles flous d'entrée. Voici toutefois les seuils que nous sommes parvenus à définir dans le tableau 6.

Tableau 6 – Présentation des seuils définis

Fonction membre	Seuil	Fonction membre	Seuil
T_coté		VOC	
Froid	0 → 65°C	Faible	0 → 1200 mV
Modéré	65 → 85°C	Modéré	1200 → 1600 mV
Chaud	85 → 130°C	Dangereux	1600 → 2000 mV
TrèsChaud	130°C	TrèsDangereux	2000 mV
Alcool			
Faible	0 → 600 mV		
Modéré	600 → 800 mV		
Dangereux	800 → 1000 mV		
TrèsDangereux	1000 mV		

### **3.2.2 Définition des règles linguistiques**

Les règles linguistiques se servent des seuils et des différentes fonctions membres pour déterminer la ou les sorties d'un module de raisonnement basé sur la logique floue. Bien que nous n'ayons pas assez de données pour déterminer l'ensemble des seuils, nous pouvons tout de même nous servir des différentes fonctions membres à notre disposition pour déterminer une partie des règles linguistiques.

Comme évoqué précédemment, il n'existe pas de guide à proprement parler pour concevoir un bon système de logique floue. C'est une technologie reproduisant le raisonnement humain. On peut comparer les règles linguistiques utilisées dans la logique floue au fait qu'un expert décrive l'ensemble des situations pouvant se produire au niveau d'une cuisinière, et quelle est leur dangerosité. Nous avons donc écrit ces règles principalement en fonction de nos observations durant les expérimentations.

Les règles doivent couvrir l'ensemble des situations possibles pour être efficaces. Les expérimentations que nous avons effectuées nous permettent de couvrir une partie de ces cas. Nous disposons au total de 30 règles, permettant un suivi du niveau de risque dans plusieurs situations. L'ensemble de ces règles sont disponibles dans l'annexe C. Les graphes résultant des données récupérées pour chaque expérimentation aident à observer visuellement l'évolution de chaque paramètre, et ainsi en déduire des règles quant à l'évaluation du risque.

### **3.2.3 Discussion sur les règles linguistiques**

Il est important de préciser que les règles reflètent en partie la pensée des auteurs de celles-ci, notamment sur l'évaluation des risques. En effet, les règles linguistiques sont définies en partie grâce au ressenti de l'auteur vis-à-vis d'une expérience vécue en lien avec ce que fait le module de raisonnement, dans notre cas évaluer le risque lors de l'utilisation d'une cuisinière. Il est tout à fait possible que si une autre personne avait rédigé ces règles, des différences auraient émergé. Toutefois, ces différences d'estimation des risques tendront à se gommer au fur et à mesure de l'ajout de données supplémentaires provenant de nouvelles expérimentations.



En guise d'exemple, voici une des règles de notre module de raisonnement :

*if T\_hotte is TresChaud or T\_cote is TresChaud then Risque is TresEleve and Brulure is TresEleve and Incendie is TresEleve*

L'ensemble des règles utilisées en logique floue repose sur le principe des conditions comme montré ci-dessus. Ici, nous indiquons que si la température relevée au niveau de la hotte est comprise dans la fonction membre « TrèsChaud », ou bien que la température de l'ustensile soit dans la fonction membre « TrèsChaud », alors les niveaux de risques sont au niveau « TrèsElevé ». Lorsque l'on détecte qu'un ustensile est dans la catégorie « TrèsChaud », il est évident que le risque de brûlure pour la personne est conséquent. Un simple toucher de l'ustensile, même involontaire, peut entraîner des blessures pour la personne. De plus, plus la température est haute, plus le risque d'incendie est élevé. Ces observations sont également valables pour la température du contenu de l'ustensile (T\_hotte).

### **3.2.4 Présentation des résultats**

Nous avons donc effectué une validation du fonctionnement du module de raisonnement sur les deux expérimentations retournant les résultats les plus intéressants, à savoir la cuisson de pâtes et la cuisson d'huile dans une poêle.

#### **3.2.4.1 Résultats pour la cuisson des pâtes**

En traitant les données provenant de l'expérimentation de la cuisson des pâtes avec le module de raisonnement, nous obtenons le niveau de risque en fonction de l'évolution de la situation. La figure 24 page suivante présente cette évolution pour le risque global sur tout le long de l'expérimentation.

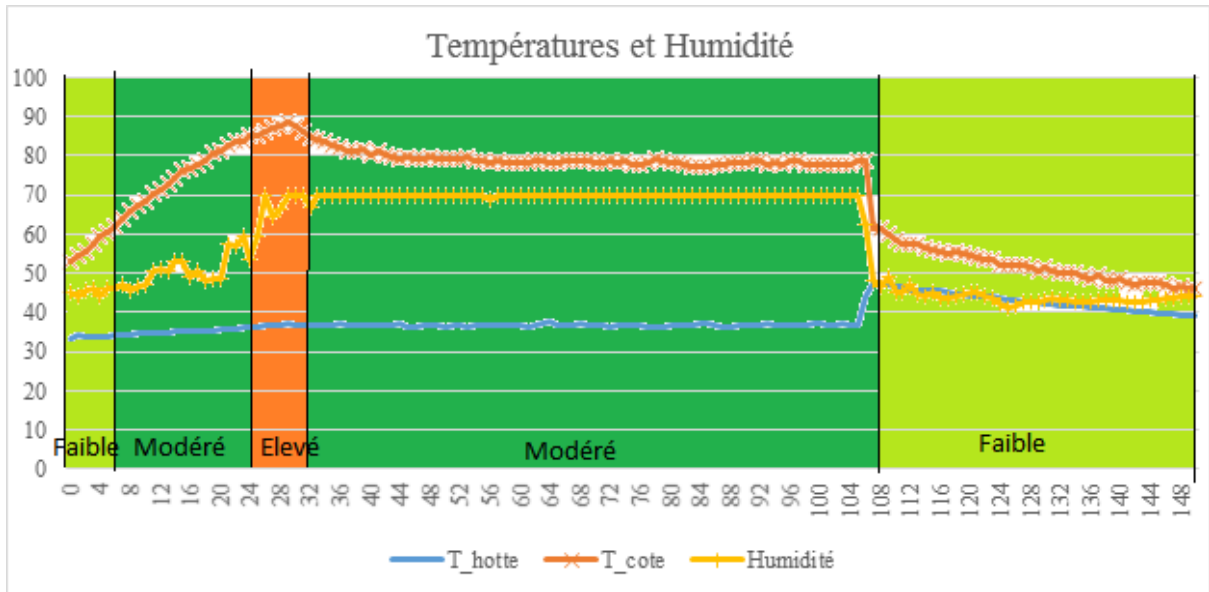


Figure 24 – Niveaux de risques pour la cuisson de pâtes

Nous constatons que durant la grande partie de l'expérimentation, le risque reste relativement faible. La seule exception se produit au moment où l'eau est en train de bouillir. En effet, c'est le moment où la température de l'ustensile atteint sa plus haute valeur. C'est également le moment où le risque de brûlures est le plus élevé : l'eau peut déborder de l'ustensile et ébouillanter la personne. Le fait que le niveau de risque « Elevé » le soit pour une courte durée vient du fait que l'expérimentation vise à reproduire une situation où la personne reste vigilante tout au long de la cuisson. Si la personne n'avait pas rapidement réagi, il est possible que le module de raisonnement détermine que le niveau de risque va atteindre le niveau « TrèsElevé ». Le niveau de risque « modéré » est rapidement atteint durant la chauffe de l'eau, et celui-ci reste actif tant que les pâtes sont dans l'eau. Le niveau de risque redescend ensuite au niveau de risque « Faible », comme au début de l'expérimentation, dès le moment où l'ustensile est retiré de la plaque et que son fonctionnement est interrompu.

Concernant cette expérimentation, nous avons constaté que les mesures de gaz n'étaient pas vraiment pertinentes, vu leurs faibles évolutions.

#### **3.2.4.1.1 Interventions à effectuer**

Étant donné que dans cette situation la personne reste toujours vigilante et présente en cuisine, seules les interventions à proximité de la cuisinière sont nécessaires. Conformément au protocole d'intervention présenté dans le chapitre 2, les bandes LED placées à proximité du rond de cuisson accueillant la casserole sont allumées tout au long de l'utilisation de la cuisinière. En fonction du niveau de risque, la couleur de l'illumination est modifiée. Les couleurs ne sont pas encore déterminées, mais les niveaux de risques les plus faibles (allant de « très faible » à « modéré ») pourraient utiliser des teintes de vert, tandis que les niveaux de risques « élevé » et « très élevé » pourraient respectivement utiliser des teints orangés et rouge. L'effet dit de respiration augmenterait en intensité au fil de l'évolution des niveaux de risque, atteignant l'intensité maximale de cette utilisation de la cuisinière lorsque le niveau de risque passe à « élevé ».

En ce qui concerne les interventions d'ordre sonores au niveau de la cuisinière, celles-ci se limiteraient à générer un son rappelant une alarme dès lors que le niveau de risque « élevé » est détecté, puis un son moins alarmant et plus calme lorsque le niveau de risque redescend à «modéré».

#### **3.2.4.2 Résultats pour la cuisson d'huile**

Nous avons ensuite observé le comportement du module de raisonnement sur les données que nous avons récoltées lors de la cuisson d'huile. L'évolution du niveau de risque général peut être observée sur la figure 25 qui se trouve sur la page suivante.

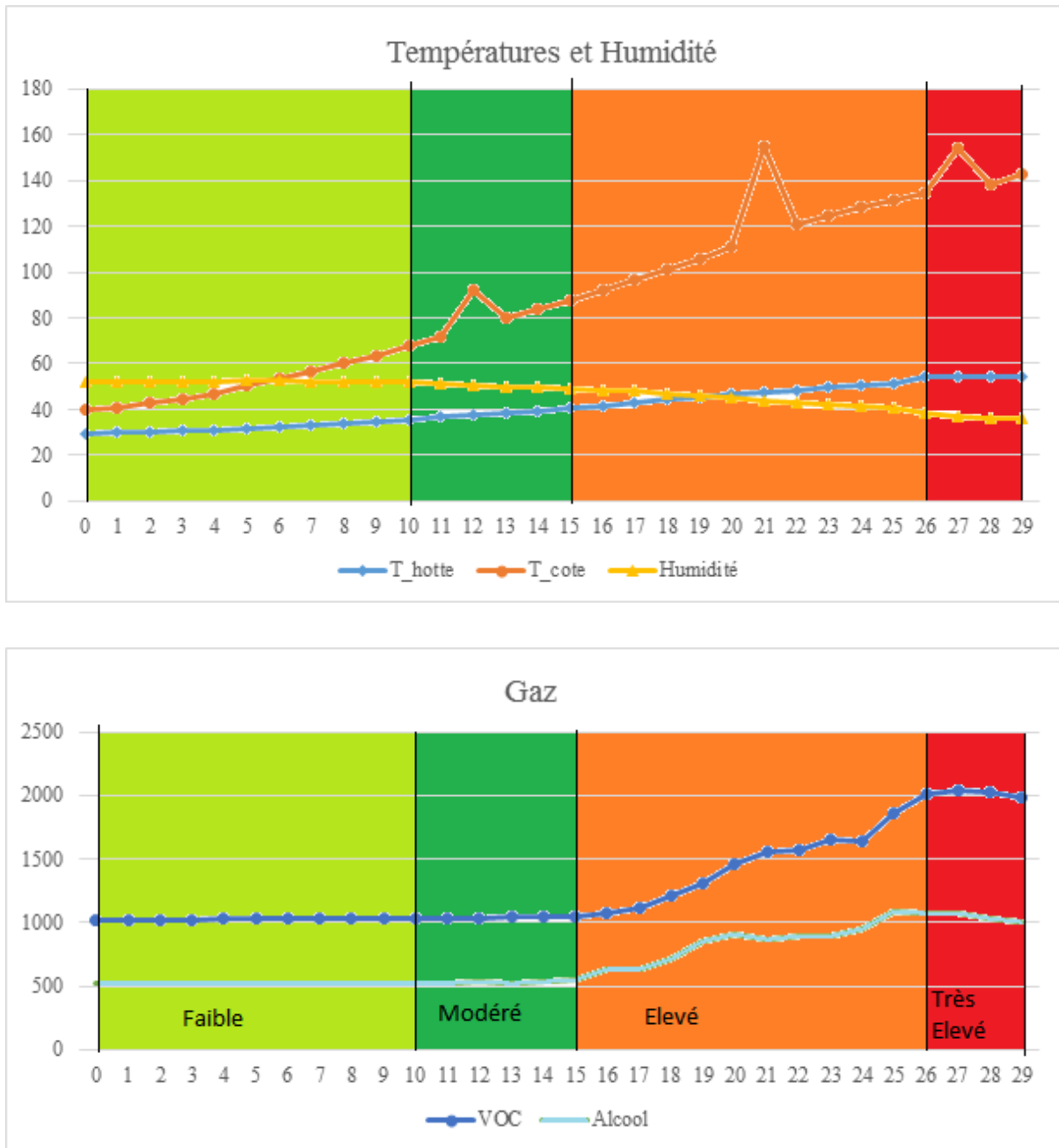


Figure 25 – Niveaux de risque pour la cuisson d’huile

Contrairement à la cuisson des pâtes, cette expérimentation a été conçue pour représenter une situation où l’utilisateur de la cuisinière n’est pas vigilant, et laisse la situation dégénérer. C’est l’une des raisons pour laquelle la durée de cette expérimentation est si courte, car notre

environnement ne nous permettait pas d'atteindre des situations prolongées de risques très élevés.

A la différence de la cuisson des pâtes, le niveau de risque « Elevé » dure bien plus longtemps. Cela est dû à la hausse rapide de la température « T\_coté », ainsi qu'à la baisse du taux d'humidité. La hausse rapide des concentrations en gaz VOC et alcool influent aussi sur l'évolution des niveaux de risques. Le niveau de risque « TrèsElevé » est d'ailleurs atteint juste avant l'arrêt de l'expérimentation, à cause de « T\_coté » étant très chaud et les concentrations de gaz ayant doublé comparé à leurs valeurs initiales.

Il est intéressant de noter que c'est à partir du niveau de risque « Elevé » que l'huile a commencé à crépiter, et que des émanations de fumées ont commencées à être observées. Durant la courte période du niveau de risque « TrèsElevé », le dégagement de fumée était bien plus important qu'auparavant. Outre le risque de brûlure (par contact avec la poêle, ou par projection d'huile), le risque d'incendie devenait de plus en plus élevé au fur et à mesure du déroulement de l'expérimentation.

Cet exemple est parfait pour montrer que même un court moment d'inattention (ici moins de 4 minutes), peut mener, dans certaines situations, à un niveau de risque « Très élevé ». Il est fort probable que si l'expérimentation avait continué encore quelques minutes, l'huile contenue dans la poêle aurait pris feu. Les interventions que nous proposons ici font tout pour éviter ce manque d'attention de la part de la personne âgée pouvant causer de graves incidents.

#### **3.2.4.2.1 Interventions à effectuer**

Ce cas d'utilisation implique que la personne n'est pas vigilante. Les interventions auront donc lieu à la fois au niveau de la cuisinière et dans l'ensemble du domicile. Ces interventions se font toujours en accord avec le protocole d'intervention présenté dans le chapitre 2. Tant que le niveau de risque ne dépasse pas « modéré », les interventions restent confinées au niveau de la cuisinière, comme présentée avec la validation précédente. Cependant, lorsque le niveau de risque « élevé » est atteint, des interventions sont effectuées dans l'ensemble du domicile, en plus de la cuisinière. Au niveau « élevé » des alarmes sonores sont déclenchées dans

l'ensemble du domicile, et les interventions lumineuses sur l'éclairage du domicile sont enclenchées. De plus, des notifications sont envoyées sur les écrans présents à domicile, comme la télévision ou l'ordinateur, afin de signaler à la personne le risque. Des notifications similaires sont envoyées sur les appareils mobiles intelligents de la personne âgée.

Le niveau de risque « TrèsElevé » n'est atteint que brièvement durant l'expérimentation. Les interventions évoquées précédemment ont toujours lieu avec ce niveau de risque. Cependant, leur intensité augmente encore une fois. Si l'expérimentation avait continué plus longtemps, d'autres interventions auraient été mises en place. Premièrement, l'alimentation électrique de la cuisinière aurait été stoppée afin d'éviter toute aggravation supplémentaire de la situation.

### **3.3 Validation de l'ensemble du système Inovus**

Une fois que le module de raisonnement est préparé et pleinement fonctionnel, il sera possible de procéder à des expérimentations portant sur l'ensemble du système Inovus. Premièrement, cette expérimentation sera l'occasion de vérifier que le système de logique floue fonctionne correctement en temps réel, sans avoir besoin de récupérer les données des capteurs depuis un fichier. Deuxièmement, l'expérimentation permettra de valider en partie l'efficacité des interventions que nous proposons, et notamment celles agissant à l'intérieur du domicile. Cela nous permettra de constater si les interventions d'ordre lumineuses sont adéquates (au niveau de l'intensité lumineuse par exemple), et que les interventions d'ordre sonores sont correctement audibles par des personnes âgées pouvant être atteintes de surdité (c'est-à-dire à un volume correct, ni trop fort, ni trop faible).

### **3.4 Résumé des expérimentations**

Sur l'ensemble des expérimentations décrites dans ce chapitre, seule la validation de la chaîne d'acquisition a été effectuée. Les résultats nous ont montré que bien que la majorité des capteurs fonctionnent comme attendu, certains d'entre eux sont bien trop sensibles aux perturbations de l'environnement pour être viables. Afin que le projet évolue dans le bon sens, des modifications quant à certains capteurs (en particulier le capteur de distance) sont à

envisager. Toutefois, les données récoltées par cette expérimentation permettront d'optimiser le fonctionnement du module de raisonnement.

Par ailleurs, nous avons effectué une validation du fonctionnement de notre module de raisonnement en se basant sur les données récoltées durant deux de nos expérimentations (cuisson de pâtes et cuisson d'huile). La première expérimentation représentait un cas où la personne est restée vigilante tout au long de son utilisation de la cuisinière, ce qui est par conséquent une utilisation normale avec des risques restant limités. Au contraire, la seconde expérimentation représente un cas où la personne n'est pas du tout vigilante, ce qui permet d'observer l'aggravation de la situation au fur et à mesure de l'évaluation. Ces cas d'utilisation sont visibles dans les résultats retournés par le module de raisonnement : pour la cuisson des pâtes, le niveau de risque « Elevé » n'est atteint qu'un court instant avant de redescendre à « Modéré ». Au contraire les résultats pour la cuisson d'huile montrent une évolution rapide du niveau de risque, en atteignant très rapidement le niveau de risque « Elevé », puis « TrèsElevé ».

L'ensemble des données récoltées durant nos expérimentations serviront donc à optimiser le module de raisonnement, en ajustant les seuils des différentes fonctions membres de valeurs d'entrée, ainsi qu'en permettant la découverte de nouvelles règles linguistiques régissant le module de raisonnement. Plus les expérimentations (et les données récoltées) seront nombreuses, plus le module de raisonnement sera amélioré. Afin de couvrir le plus large éventail de possibilités possibles, ces expérimentations se doivent d'être effectuées dans des environnements différents (différents modèles de cuisinières, puissance de la hotte ...) afin d'obtenir un module de raisonnement apte à travailler dans tous les environnements possibles qu'offrent les cuisines.

# Conclusion

## Résumé du travail effectué

La recherche présentée dans ce document entre dans le cadre d'une solution de prévention des risques liés à l'utilisation d'une cuisinière électrique par des personnes âgées en perte d'autonomie. Les principaux risques identifiés sont les incendies, les intoxications, les brûlures par contact et les brûlures par projection de liquide. La surveillance des risques est effectuée grâce à un ensemble de capteurs placés tout autour de la cuisinière. Ces capteurs récupèrent des informations sur l'environnement de la cuisinière, permettant à un système informatique embarqué de pouvoir déduire le niveau de risque auquel la personne est confrontée à partir de ces informations. Cette déduction du niveau de risque est effectuée grâce à un module de raisonnement basé sur l'utilisation de la logique floue. Celui-ci prend comme variables d'entrées les données des capteurs et retournant les niveaux de dangers pour chaque risque identifié, ainsi qu'un niveau de risque général.

Une fois le niveau de risque estimé, le système Inovus va tenter d'alerter la personne des risques présents par le biais de diverses interventions définies pour Inovus, pouvant être d'ordres visuels ou sonores, afin de prévenir une aggravation des risques. Ces interventions sont graduelles, c'est-à-dire qu'à mesure que le niveau de risque augmente, les interventions seront de plus en plus visibles et audibles. Ces interventions s'effectueraient d'abord au niveau de la cuisinière grâce à l'installation de bandes LED autour de la cuisinière et de haut-parleurs. Si la personne n'a toujours pas influé sur la cuisinière et que le niveau de risque n'a toujours pas diminué, des interventions auront cette fois lieu dans l'ensemble du domicile de la personne. Ces interventions influenceront sur l'éclairage des pièces, et des sons pourront être diffusés dans l'ensemble du domicile pour alerter la personne.

De plus, des notifications sont envoyées aux appareils intelligents (téléphone, tablette tactile, ...) de la personne, ou bien diffusées sur la télévision de celle-ci si elle en dispose d'une. Enfin, dans les cas où la personne ne réagit toujours pas à ces interventions et que le niveau de risque



est très élevé, des interventions plus importantes sont mises en œuvre afin de s’assurer que la personne va bien et qu’elle est en sécurité.

L’ensemble du système Inovus est contrôlé par le biais d’une carte de type Raspberry Pi (dans sa version 1B+). Des expérimentations en conditions réelles ont été réalisées. Celles-ci visaient à récolter des données correspondant à des situations réelles afin de pouvoir optimiser le module de raisonnement, tout en validant le bon fonctionnement de la chaîne d’acquisition. La majorité des capteurs ont fonctionné comme attendu, mais le capteur de distance est soumis à trop de perturbations pour fonctionner correctement. Avec ces expérimentations, nous avons également procédé à une validation du fonctionnement du module de raisonnement, portant sur la détermination des niveaux de risques. Cette validation comprend un cas où la personne est restée vigilante tout au long de son utilisation de la cuisinière, et un cas contraire où la personne n’était pas vigilante.

## **Contributions originales**

À notre connaissance, aucun système permettant de prévenir tous les principaux risques liés à l’utilisation de la cuisinière n’est à ce jour disponible. Les systèmes actuels se cantonnent généralement aux risques d’incendie et d’intoxication, avec notamment les détecteurs de fumée. Nous permettons, avec le système Inovus, une surveillance accrue de l’ensemble des risques majeurs identifiés, ainsi qu’une prévention efficace de ceux-ci. Contrairement à certains systèmes actuels, le but d’Inovus est d’empêcher les risques de se produire grâce à une approche proactive, et non pas d’attendre que ceux-ci se produisent pour en avertir la personne. La validation effectuée pour notre module de raisonnement montre que le système est capable de différencier des situations où la personne reste vigilante et des situations où la personne ne l’est pas. De plus, la validation du module de raisonnement a permis de montrer que les niveaux de risque étaient adéquatement déterminés. Les niveaux ont été mis en concordance avec les événements constatés durant les expériences.

Couplé à des interventions efficaces, le système Inovus devrait permettre à des personnes âgées en perte d’autonomie de pouvoir rester vivre à leur domicile plus longtemps tout en conservant

une part d'autonomie dans la préparation de leur repas. En effet, le système Inovus est l'un des premiers systèmes permettant d'effectuer des interventions autres que le déclenchement d'une alarme sonore pour avertir la personne d'un potentiel risque. Ces interventions ont bien évidemment pour objectif d'assurer la sécurité de la personne en priorité, et ont été pensées pour les personnes âgées et leurs besoins spécifiques. Toutefois, le système peut également inciter la personne à intervenir elle-même sur la cuisinière afin de réduire le niveau de risque, si celui-ci n'est pas trop élevé. Cela permet une indépendance encore plus importante de la personne. Le système ne serait là que pour lui rappeler la présence de risque.

Pour l'ensemble de ces interventions, nous proposons des protocoles d'expérimentations pour évaluer leur efficacité auprès des personnes utilisatrices d'Inovus, ainsi que l'acceptabilité du système par les personnes âgées, cibles du projet.

## **Travail restant à effectuer**

Toutefois, le projet Inovus n'est pas encore finalisé. En effet, il reste encore à faire évoluer le prototype pour que celui-ci couvre l'ensemble de la cuisinière, et non pas uniquement un seul rond de cuisson. Cela implique peut-être l'ajout de capteurs supplémentaires ou le remplacement de certains d'entre eux. La couverture de l'ensemble de la cuisinière nécessite également la prise en charge du fonctionnement de la hotte, afin que le prototype soit pleinement fonctionnel dans des situations d'utilisation réelles.

De plus, il reste à définir avec précision quelles seront les interventions prises en charge par le système en fonction du niveau de risque déterminé par le module de raisonnement. Une fois ces interventions définies, la programmation du module gérant ces interventions peut avoir lieu. En effet, si les interventions que nous souhaitons faire sont définies de façon générale, il nous faut savoir comment les effectuer. Il faut définir avec exactitude les effets générés par les interventions. Par exemple, il nous faut déterminer quelles seront les couleurs que nous utiliserons pour les interventions lumineuses au niveau de la cuisinière, et les sons générés par les interventions sonores doivent également être définis. Enfin, le matériel approprié au système et aux interventions doit être choisi et testé.

De plus, certains capteurs actuels ont encore quelques problèmes de fonctionnement. Le capteur d'humidité HHH5030 nécessite un étalonnage avant chaque utilisation de la cuisinière. Une automatisation de cet étalonnage permettrait de faciliter l'utilisation d'Inovus. Par ailleurs, le capteur de distance SRF02 pose bien trop de problèmes actuellement, en fournissant des données inutilisables. Il nous faut trouver un moyen de corriger ce problème, ou bien le remplacer.

Une fois le prototype finalisé, il sera nécessaire de procéder à des expérimentations afin de mesurer l'efficacité du système sur deux points. Tout d'abord, les expérimentations devront s'assurer que le système, et son module de raisonnement, identifie correctement les risques sur l'ensemble de la cuisinière, et non plus sur un seul rond de cuisson comme c'est le cas actuellement. Ensuite, les expérimentations devront confirmer l'efficacité des interventions que nous avons mis en œuvre, c'est-à-dire savoir si la personne est bien interpellée par celles-ci et qu'elle y réagit comme attendu, et si la personne accepte bien le produit et l'ensemble de ses fonctionnalités. Cependant, ces interventions impliquant des utilisateurs, une analyse éthique est nécessaire avant de procéder à toute expérimentation.

Ces expérimentations pourraient se faire en deux phases. La première phase se ferait en laboratoire, afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble du système. Cette phase serait particulièrement utile pour s'assurer que la prévention des risques sur l'ensemble de la cuisinière est en effet efficace. Un laboratoire permettrait de disposer d'un environnement adapté pour les cas de risques, ce qui nous permettrait de tester plus de cas, y compris les plus dangereux, dans une situation sécuritaire. Des personnes âgées en perte d'autonomie pourraient également prendre part à ces expérimentations pour apporter leur opinion sur le projet et les interventions que nous proposons.

La seconde phase consisterait en un déploiement du système sur un nombre limité de domiciles, chez des personnes âgées volontaires. Cela permettrait d'observer le fonctionnement du système dans des conditions réelles. Cela sera également l'occasion d'évaluer l'efficacité des interventions proposées auprès de personnes en perte d'autonomie, ainsi que de recueillir leur opinion sur le système. Ce retour pourrait être fort bénéfique aux futures évolutions du projet,

ainsi qu'à l'ajustement des interventions proposées. Par ailleurs, ce déploiement serait l'occasion de récolter plus de données afin d'optimiser le fonctionnement du module de raisonnement.

# **Annexe A**

## **Présentation matérielle du prototype**

### **A.1 Besoins de la plateforme**

La plateforme Inovus, en plus de proposer des interventions, doit bien sûr permettre la détection des situations de risques. Pour ce faire, une plateforme matérielle robuste doit être mise en œuvre.

Au vu des risques présents lors de l'utilisation d'une cuisinière, la plateforme doit être en mesure de détecter ces risques en tout temps. De plus, le système et ses capteurs ne doivent pas prendre trop de place, afin de laisser le plus d'espace libre dans la cuisine. Le système doit également permettre, par le biais des capteurs, de surveiller les paramètres critiques liés à l'utilisation de la cuisinière, afin de pouvoir détecter les risques. Enfin, il est primordial que le module d'évaluation des risques et de décision d'intervention puisse être facilement intégré à cette plateforme matérielle, et puis fonctionner sans encombre.

### **A.2 Matériel utilisé**

Il était initialement prévu d'utiliser les cartes Nodeus et Inovus, conçues spécifiquement pour le projet, comme détaillé dans le chapitre portant sur le travail précédemment effectué sur le projet Inovus. La programmation en C sur le microcontrôleur MSP430 était effectuée avec l'environnement de développement fourni par Texas Instruments (fabricant de la puce), c'est à dire Code Composer Studio<sup>13</sup>. Cet environnement dispose du compilateur permettant d'adapter le code au MSP430. Il est possible de faire tourner le programme sur la carte en mode pas à pas, tout en observant l'état des registres internes au microcontrôleur, ce qui s'avère être un outil fort utile.

---

<sup>13</sup> <http://www.ti.com/tool/ccstudio> - visité le 27 mai 2016

Enfin, l'intégration du module de décision basé sur de la logique floue s'avérait être compliquée. En effet, les précédentes expérimentations sur le projet Inovus utilisaient une version du module de décision qui était basé sur un programme Matlab. Il était donc nécessaire de connecter le microcontrôleur à un ordinateur avec Matlab. L'intégration du programme de Matlab implique une conversion du code en langage C. Passer d'un langage entièrement dédié aux mathématiques à un langage plus universel comme C implique une perte de précision, d'autant plus qu'il faut que ce programme puisse fonctionner sur un microcontrôleur MSP430.

En somme, certains dysfonctionnements des cartes Inovus et Nodeus, ainsi que la difficulté d'adapter le module de décision pour le MSP430, ont mené à la décision de remplacer cet ensemble de cartes par l'utilisation d'un Raspberry Pi.

### **A.2.1 Raspberry Pi**

Le Raspberry Pi utilisé dans pour le projet Inovus est la première version de la carte (la troisième version de la carte est sortie en 2016), le modèle B+. Cette carte dispose d'un microcontrôleur ARM6 de type Broadcom BCM2835 fonctionnant à 700 MHz ainsi que 512 Mo de mémoire vive. Quatre ports USB 2 sont présents, ainsi qu'un port HDMI et un port Ethernet, avec également 40 ports GPIO, ce qui est amplement suffisant pour installer les capteurs nécessaires. Étant donné la puissance de calcul du microcontrôleur, le Raspberry Pi est capable de faire tourner une interface graphique et un système GNU/Linux. Il dispose même de sa propre distribution Linux : Raspbian. Au vu du succès commercial du Raspberry Pi, de très nombreuses librairies ont été développées spécifiquement pour ce système. De plus, comme son système d'exploitation est de type GNU/Linux, de nombreux outils déjà existants pour cette architecture sont également compatibles avec la carte. Au vu de la puissance de calcul disponible avec le Raspberry Pi, ainsi que la facilité de programmer sur cette carte, l'intégration du module d'évaluation des risques et de décision des interventions se fera aisément.

Le seul grand désavantage du Raspberry Pi pour le projet Inovus est son absence de convertisseur analogique-numérique. Plus de la moitié des capteurs utilisés pour le projet sont

en effet des capteurs analogiques. Il existe fort heureusement de nombreuses cartes additionnelles au Raspberry Pi qui sont superposables. L'une d'elles est la carte ADC Pi Plus, fabriquée par ABElectronics<sup>14</sup>. C'est une carte composée de deux puces ADC, les MCP3424, qui communiquent avec le Raspberry Pi via le protocole I2C. Cette carte fournit huit canaux ayant une résolution maximale de 17 bits chacun, contre une résolution maximale de 12 bits pour le MSP430. Cette résolution permet d'obtenir des valeurs numériques plus fines, bien que cette précision ne soit pas forcément nécessaire dans notre cas.

### A.2.2 Capteurs utilisés

Le choix des capteurs fut déjà effectué précédemment, et ceux-ci avaient même été testés dans des situations réelles [16]. D'après les expérimentations effectuées à ce moment-là, les capteurs choisis étaient tous en mesure de répondre aux besoins du projet. Ces capteurs couvrent en effet tous les paramètres liés aux risques venant de l'utilisation de la cuisinière. Cinq capteurs différents sont utilisés par Inovus :

- Melexis MLX90614 : c'est un capteur de température de type infrarouge, c'est-à-dire qu'il mesure la température d'un objet grâce au rayonnement infrarouge que celui-ci émet. Cela permet une mesure à distance de la température. Cependant, la mesure de la température de l'objet par le biais de son rayonnement infrarouge implique de prendre en compte son émissivité, c'est-à-dire la capacité d'un corps à rayonner de l'énergie en fonction de sa température. Un étalonnage du capteur sera donc nécessaire, en suivant le protocole émis par T. Tessier. C'est un capteur retournant une valeur numérique, une conversion analogique-numérique n'est donc pas nécessaire. Le capteur communique avec le protocole I2C.
- Figaro TGS2620 : c'est un capteur de gaz, plus précisément d'alcool. Il est utilisé pour mesurer la concentration d'alcool dans l'air. Contrairement au capteur de température, c'est un capteur analogique, requérant donc une conversion analogique-numérique.

---

<sup>14</sup> <https://www.abelectronics.co.uk/p/56/ADC-Pi-Plus-Raspberry-Pi-Analogue-to-Digital-converter> - Visité le 25 mai 2016

Afin de retourner des valeurs cohérentes, ce capteur nécessite également un étalonnage. De plus, ce capteur nécessite d'être chauffé, et donc un circuit supplémentaire.

- Figaro TGS5042 : c'est également un capteur de gaz. Celui-ci mesure la concentration de monoxyde de carbone dans l'air. Étant donné l'extrême dangerosité du gaz mesuré par ce capteur, ainsi que le fait que l'Université de Sherbrooke ne dispose pas de lieu sécurisé pour tester ce capteur, il nous est impossible de déterminer de façon sûre si le capteur est efficace. C'est également un capteur analogique.
- SGX MiCS-5524 : c'est le seul changement de capteur ayant eu lieu comparé aux travaux précédents. Le MiCS-5521 n'étant plus fabriqué, le MiCS-5524 l'a remplacé. Outre le changement de dénomination et le changement de format du capteur, il n'y a que très peu de changements apportés. Son fonctionnement est identique au modèle précédent. C'est un capteur analogique mesurant la concentration en composés organiques volatils (VOC) dans l'air.
- Robot Electronics SRF02 : C'est un capteur de distance fonctionnant par ultrasons. Communicant via le protocole I2C, le capteur émet des ultrasons, qui se réverbèrent sur un objet proche pour revenir vers le capteur, qui calcul ainsi la distance de l'objet en fonction de la durée du retour d'onde. Toutefois, l'émission d'ultrason est très sensible aux perturbations extérieures, ce qui peut grandement fausser les résultats.

Étant donné l'état de prototype du système Inovus, ces capteurs ne ciblent pour le moment qu'un seul rond de cuisine. L'évolution du projet pour intégrer la surveillance de tous les ronds de cuisson impliquera éventuellement une modification de certains capteurs actuellement utilisés. Tous les capteurs sont actuellement installés sur des platines de prototypages, elles-mêmes reliées au Raspberry Pi grâce à un câble de type nappe.

### **A.2.3 Utilisation de bandes LED**

Afin d'effectuer les interventions lumineuses au niveau de la cuisinière, des bandes LED sont utilisées. Celles à notre disposition disposent de 60 LEDs par mètre de ruban. Les LED sont de type RGB, c'est-à-dire qu'il est possible de générer trois couleurs primaires (dans ce cas le



rouge, le vert et le bleu), permettant de générer plus de 1,6 millions de couleurs différentes. Ces sont des LED de type WS2812, conçues par WorldSemi. En réalité, chaque « LED » WS2812 est composée d'un contrôleur et de trois LED : une rouge, une bleue et une verte. L'intensité lumineuse de chacune de ces LED est contrôlable sur 8 bits, permettant 255 possibilités différentes par LED. Chaque LED est contrôlable de façon unique, permettant de personnaliser la couleur de chaque LED de la bande. Étant donné le grand nombre de LED présentes sur la bande, la consommation en énergie ne peut pas se faire directement via le Raspberry Pi. Il est nécessaire de passer par une alimentation externe en 5V permettant d'alimenter convenablement les LED.

## **Annexe B**

### **Étude de l'acceptabilité du système Inovus**

#### **B.1 Discussions avec le public ciblé**

Comme indiqué dans la revue de littérature, il est important de savoir exactement ce que veulent les personnes âgées et leur entourage, afin de pouvoir leur offrir un système qu'ils accepteront d'utiliser.

Pour recueillir ces données, plusieurs moyens peuvent être mis en œuvre. Tout d'abord, des questionnaires seront distribués, quant à leurs problèmes de santé, leur point de vue sur la technologie ainsi que la sécurité dans la cuisine.

Ensuite, des réunions de groupe seront effectuées afin de rassembler des idées et opinions sur le système Inovus et ses interventions. Cela sera également l'occasion d'approfondir certains points évoqués par les répondants du questionnaire. La récolte d'opinion sur le projet Inovus sera l'occasion d'observer si les personnes âgées (et leur proches) voient d'un bon œil le système que nous concevons.

Enfin, des entrevues avec les personnes âgées seront également bénéfiques, permettant de recueillir des informations sur ce que veut en détail la personne et ce qu'elle attend d'un système tel qu'Inovus.

Toutes ces discussions avec le public ciblé permettront d'éventuels ajustements du fonctionnement d'Inovus et de ses interventions afin que ce système soit pleinement accepté par la personne âgée, et puisse donc fonctionner de façon efficace.

## **B.2 Évaluations sans personnes âgées**

Les premières expérimentations se dérouleraient sans la cible principale, c'est-à-dire les personnes âgées. Ces expérimentations ont pour objectif de s'assurer que le système fonctionne comme attendu de lui, que ce soit dans des situations classiques aux risques limités, ou bien dans des situations plus dangereuses. La cuisson de divers plats permettra d'observer que les interventions effectuées sont correctement liées au niveau de risque associé, peu importe le dit niveau. Bien que les expérimentateurs n'aient pas de problèmes de santé particuliers, cela sera l'occasion de constater si les interventions apportent une gêne de l'utilisation de la cuisinière ou non. Par ailleurs, cela sera également l'occasion d'évaluer la qualité des interventions ayant lieu dans l'ensemble du domicile. Il faut en effet s'assurer qu'un non-utilisateur de la cuisinière ne soit pas importuné pour rien par les interventions sans raison. À l'opposé, il faut s'assurer que les interventions au niveau de l'ensemble du domicile soient suffisamment compréhensibles pour que les résidents comprennent qu'il y a un risque en cuisine.

Pour effectuer cela, il est nécessaire de provoquer une situation dangereuse en lien avec l'utilisation de la cuisinière. Il serait tout à fait possible de simuler cette situation. Néanmoins, il serait intéressant de réellement provoquer cette situation dangereuse, afin de vérifier que le système réagit bien comme attendu de lui.

Ces expérimentations sans les personnes âgées vont permettre d'effectuer d'éventuels ajustements aux interventions avant la seconde étape des expérimentations. Cette deuxième étape va cette fois-ci faire intervenir la cible principale du projet Inovus, c'est-à-dire les personnes âgées en perte d'autonomie.

## **B.3 Expérimentations en présence de personnes âgées**

La seconde étape fera donc interagir des personnes âgées en perte d'autonomie avec le système Inovus, afin de recueillir leur opinion sur les interventions que nous proposons.

Les personnes âgées participant à l'expérience doivent bien évidemment être volontaires. Il est préférable que ces personnes soient les mêmes personnes ayant participé aux discussions évoquées plus haut dans ce chapitre. Si les discussions ne ciblent pas uniquement les personnes âgées, ces expérimentations ciblent uniquement les utilisateurs d'Inovus, c'est-à-dire les personnes âgées. Il serait préférable que ces personnes soient en effet en situation de perte d'autonomie, même légère.

Les personnes sélectionnées viendraient chacune leur tour dans l'appartement-témoin, pour participer à l'expérimentation. Ces personnes peuvent bien évidemment être accompagnées de proches ou d'aidants. La toute première étape de l'expérimentation consistera en la présentation du système Inovus et de ses interventions. Cela sera une autre occasion de récolter les opinions des personnes directement concernées par les interventions du système Inovus. La suite des expérimentations se déroulera ensuite en deux phases : la phase où seront expérimentées les interventions au niveau de la cuisinière et la phase où les interventions au niveau du domicile seront expérimentées.

Concernant la phase des interventions au niveau de la cuisinière, la première expérimentation consistera à demander à la personne de cuisiner comme elle le ferait d'habitude chez elle. En plus de permettre la récupération de données supplémentaires sur l'utilisation de la cuisinière (ouvrant la possibilité à de futures améliorations du module de raisonnement), cela va permettre de recueillir l'opinion des utilisateurs sur les interventions en conditions réelles. Ainsi, nous saurons si les interventions effectuées, même dans les situations où le risque est limité, sont source de gêne pour les utilisateurs, en raison de la trop forte luminosité des bandes LED ou du volume sonore trop élevé.

Pour des raisons de sécurité, il nous faudra simuler les situations dangereuses, et observer la réaction de la personne âgée. Pour observer une réaction la plus proche de la réalité possible, il nous faut trouver un moyen pour distraire la personne âgée, en lui faisant par exemple effectuer des exercices ou des jeux pour détourner son attention. Sa réaction nous permettra d'évaluer si les interventions que nous proposons sont efficaces, notamment l'assistance sonore à distance.

Concernant les expérimentations pour les interventions sur l'ensemble du domicile, celles-ci varieront peu. Ces interventions ont en effet pour objectif de rappeler à la personne que la cuisinière est sans surveillance, et que le niveau de risque est potentiellement élevé ou très élevé. Étant donné la dangerosité de la situation, une simulation des situations dangereuses devra encore avoir lieu. Pour cette expérimentation, la personne âgée devra se trouver dans une pièce autre que la cuisine. De façon similaire à ce qui a été fait précédemment, la personne âgée effectuera des exercices de stimulation pour détourner son attention de la cuisinière. La situation de risque sera alors enclenchée, et la réaction de la personne aux interventions sera analysée, puis son avis recueilli. La simulation des risques sera gérée par un des examinateurs, qui les exécutera avec la méthode du « Magicien d'Oz » [70].

Il est à noter que l'intervention fournie par le système « Assist-Me » ne fait pas partie des expérimentations évoquées précédemment. L'un des créateurs du système propose néanmoins des méthodes de test dans son mémoire de Maîtrise [55]. Bien que « Assist-Me » ait légèrement été modifié, les tests pourraient rester les mêmes.

## **B.4 Tests chez l'habitant**

Une fois les expérimentations précédentes réalisées, et leurs résultats analysés, il est possible d'apporter des modifications aux interventions, afin de mieux correspondre aux attentes des futurs utilisateurs. Tous les tests précédents étaient effectués dans un appartement-témoin.

Cependant, afin de s'assurer que le système Inovus est performant en tout environnement, une expérimentation de longue durée est nécessaire. Nous proposons l'installation du système Inovus chez plusieurs personnes âgées (en se basant sur les mêmes critères qu'auparavant), pour une durée de 6 mois. Cette expérimentation longue durée va permettre de détecter si des problèmes de longévité existent sur le système Inovus, et si les personnes tendent à ignorer les interventions au fil du temps. Une utilisation longue durée sera également l'occasion de s'assurer que la personne ne se sente pas exaspérée par les interventions sur le long terme. Une fois le système installé chez l'ensemble des membres de la cohorte, des rencontres régulières auront lieu avec les examinateurs. Ces rencontres auraient lieu chez la personne, et

s'effectueraient une fois par mois. Elles auraient pour but de s'assurer que le système fonctionne toujours correctement, et de recueillir l'opinion de la personne sur son fonctionnement.

## **B.5 Conclusion**

Concernant l'efficacité des interventions, celles-ci seront évaluées en trois étapes. La première étape regroupe l'ensemble des expérimentations en laboratoire, sans cohorte de tests. Tout d'abord, une discussion avec le public ciblé aura lieu grâce à diverses méthodes (entrevues, réunion de groupe, questionnaire). Cela permettra le recueil des opinions et des besoins des personnes âgées quant à un environnement de cuisine sécurisé. Les évaluations visent à s'assurer du bon fonctionnement du système et de ses interventions, dans des situations réelles, y compris les situations dangereuses. Ensuite, des personnes âgées en perte d'autonomie seront impliquées dans les tests du système, cible principale du système Inovus. Ces personnes interagiront avec le système dans une situation proche de la réalité (dans un appartement-témoin équipé et sécurisé). Leurs opinions sur les interventions proposées seront recueillies dans le but d'améliorer le système ultérieurement. Enfin, la troisième et dernière étape va consister en l'installation du système Inovus au domicile de personnes âgées volontaires et sélectionnées, pour une durée de six mois. L'opinion et le retour des utilisateurs seront recueillis mensuellement par le biais de rencontres à domicile. C'est l'ultime étape des expérimentations, qui va permettre de récolter des données provenant d'environnements de test divers. Cela permettra une optimisation du système ainsi qu'une amélioration des interventions que nous proposons.

## **Annexe C**

### **Règles linguistiques du module de raisonnement**

Les règles qui suivent sont l'ensemble des règles régissant le fonctionnement du module de raisonnement.

1. if T\_hotte is Froid and T\_cote is Froid and Distance is Absence and VOC is Faible and Alcool is Faible then Risque is TresFaible and Brulure is TresFaible and Incendie is TresFaible and Intoxication is TresFaible
2. if T\_hotte is Froid and T\_cote is Froid and Humidite is PeuHumide and VOC is Faible and Alcool is Faible then Risque is TresFaible
3. if T\_hotte is Froid and T\_cote is Modere and VOC is Faible and Alcool is Faible then Risque is Faible and Brulure is Faible and Incendie is Faible
4. if T\_hotte is Froid and T\_cote is TresChaud and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Brulure is Eleve and Incendie is Modere and Intoxication is Faible
5. if T\_hotte is Chaud and T\_cote is Froid and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Brulure is Eleve and Incendie is Modere and Intoxication is Faible
6. if T\_hotte is Froid and T\_cote is Froid and Humidite is Modere and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Faible and Brulure is Faible and Intoxication is Faible and Incendie is Faible
7. if T\_hotte is Froid and T\_cote is Froid and Humidite is TresHumide and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Incendie is Modere and Intoxication is Faible and Brulure is Modere

8. if T\_cote is Froid and T\_hotte is Chaud and Distance is Absence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Faible and Brulure is Modere and Incendie is Faible and Intoxication is Faible
9. if Humidite is Humide and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Brulure is Modere and Incendie is Modere
10. if T\_hotte is Chaud and T\_cote is TresChaud and Humidite is TresHumide and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Brulure is Eleve and Incendie is Eleve and Intoxication is Modere
11. if Humidite is TresHumide and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere and Brulure is Modere and Incendie is Eleve and Intoxication is Faible
12. if T\_hotte is TresChaud or T\_cote is TresChaud then Risque is TresEleve and Brulure is TresEleve and Incendie is TresEleve
13. if VOC is Dangereux then Risque is Eleve and Incendie is Eleve and Intoxication is Eleve
14. if Alcool is Dangereux then Risque is Eleve and Incendie is Eleve and Intoxication is Eleve
15. if CO is Dangereux then Risque is Eleve and Incendie is Eleve and Intoxication is Eleve
16. if CO is TresDangereux then Risque is TresEleve and Incendie is TresEleve and Intoxication is TresEleve
17. if Alcool is TresDangereux then Risque is TresEleve and Incendie is TresEleve and Intoxication is Eleve
18. if VOC is TresDangereux then Risque is TresEleve and Incendie is TresEleve and Intoxication is TresEleve



19. if T\_cote is Chaud and Humidite is Humide then Risque is Eleve and Brulure is Eleve and Incendie is Modere
20. if T\_cote is Chaud and Humidite is TresHumide then Risque is Eleve and Brulure is Eleve and Incendie is Modere
21. if T\_cote is TresChaud and Humidite is Humide then Risque is Eleve and Brulure is Eleve and Incendie is Modere
22. if T\_cote is TresChaud and Humidite is TresHumide then Risque is Eleve and Brulure is Eleve
23. if T\_hotte is Modere and T\_cote is Modere and Distance is Presence and VOC is Faible and Alcool is Faible then Risque is Modere
24. if T\_hotte is Modere and T\_cote is Modere and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Faible then Risque is Modere
25. if T\_hotte is Modere and T\_cote is Modere and Distance is Presence and VOC is Faible and Alcool is Modere then Risque is Modere
26. if T\_hotte is Modere and T\_cote is Modere and Distance is Presence and VOC is Modere and Alcool is Modere then Risque is Modere
27. if T\_cote is Froid and T\_hotte is Froid then Risque is TresFaible
28. if T\_cote is Froid and T\_hotte is Modere then Risque is Faible
29. if T\_cote is Chaud and VOC is Faible and Alcool is Faible then Risque is Modere
30. if Humidite is Modere and T\_cote is Chaud and T\_hotte is Chaud then Risque is Eleve and Incendie is Eleve

## Bibliographie

- [1] L. Bherer, S. Belleville, and C. Hudon, “Le déclin des fonctions exécutives dans la maladie d ’ Alzheimer et dans la démence frontotemporale,” *Psychol. Neuropsychiatr. du Vieil.*, vol. 2, no. 3, pp. 181–189, 2004.
- [2] A. Association, “2013 Alzheimer’s disease facts and figures,” *Alzheimer’s Dement.*, vol. 9, no. 2, pp. 208–245, 2013.
- [3] B. A. Caceres, M. O. Frank, J. Jun, M. T. Martelly, T. Sadarangani, and P. C. de Sales, “Family caregivers of patients with frontotemporal dementia: An integrative review,” *Int. J. Nurs. Stud.*, vol. 55, p. 14, 2015.
- [4] A. Raggi, D. Tasca, S. Panerai, W. Neri, and R. Ferri, “The burden of distress and related coping processes in family caregivers of patients with Alzheimer’s disease living in the community,” *J. Neurol. Sci.*, vol. 358, no. 1, pp. 77–81, 2015.
- [5] P. Bremer, E. Cabrera, H. Leino-Kilpi, C. Lethin, K. Saks, C. Sutcliffe, M. Soto, S. M. G. Zwakhalen, and A. Wübker, “Informal dementia care: Consequences for caregivers’ health and health care use in 8 European countries,” *Health Policy (New. York)*, vol. 119, no. 11, pp. 1459–1471, 2015.
- [6] Statistics Canada, “Living Arrangements of Seniors,” no. 98, 2012.
- [7] J. R. Hall, “Home cooking fire patterns and trends,” no. July, pp. 1–121, 2006.
- [8] Statistics Canada - Government of Canada, “Statistics Canada: 2011 Census Profile,” *Statistics Canada*, 2012. [Online]. Available: <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=E&Geo1=PR&Code1=01&Geo2=PR&Code2=01&Data=Count&SearchText=Canada&SearchType=Begin&SearchPR=01&B1=All&Custom=&TABID=1>.

- [9] T. Obi and N. Iwasaki, “Innovative Applications and Strategy on ICT Applications for Aging Society - Case Study of Japan for Silver ICT Innovations,” *ICEGOV*, Oct 22-25, vol. 2060, no. January 2012, pp. 218–226, 2013.
- [10] L. A. West, S. Cole, D. Goodkind, and W. He, “65+ in the United States: 2010,” 2014.
- [11] L. a Jacobsen, M. Kent, M. Lee, and M. Mather, “America’s aging population,” *Popul. Bull.*, vol. 66, no. 1, pp. 1–18, 2011.
- [12] T. T. Luor, H. Lu, H. Yu, and Y. Lu, “Exploring the critical quality attributes and models of smart homes,” *Maturitas*, 2015.
- [13] A. E. Tchalla, F. Lachal, N. Cardinaud, I. Saulnier, D. Bhalla, A. Roquejoffre, V. Rialle, P. M. Preux, and T. Dantoine, “Efficacy of simple home-based technologies combined with a monitoring assistive center in decreasing falls in a frail elderly population (results of the Esoppe study),” *Arch. Gerontol. Geriatr.*, vol. 55, no. 3, pp. 683–689, 2012.
- [14] R. C.-Y. Chen, M.-S. Lee, Y.-H. Chang, and M. L. Wahlqvist, “Cooking frequency may enhance survival in Taiwanese elderly,” *Public Health Nutr.*, vol. 15, no. 7, pp. 1142–1149, 2012.
- [15] M. Ahrens, “Home Fires Involving Cooking Equipment,” no. November, 2015.
- [16] T. Tessier, “Prévention des dangers liés à l’utilisation d’une cuisinière : une validation grâce à un prototype,” Université de Sherbrooke, 2011.
- [17] T. De Champs, “Approche à base de vérification formelle de modèle pour une utilisation sécuritaire de la cuisinière d’un habitat intelligent,” 2012.
- [18] R. Yared, B. Abdulrazak, T. Tessier, and P. Mabillean, “Cooking risk analysis to enhance safety of elderly people in smart kitchen,” in *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA ’15*, 2015, pp. 1–4.

- [19] B. Abdulrazak and R. Yared, "Prevent cooking risks in kitchen of elderly people: Adaptable reasoning engine based on fuzzy logic for smart oven," *Proc. - 15th IEEE Int. Conf. Comput. Inf. Technol. CIT 2015, 14th IEEE Int. Conf. Ubiquitous Comput. Commun. IUCC 2015, 13th IEEE Int. Conf. Dependable, Auton. Se*, pp. 2165–2172, 2015.
- [20] B. Abdulrazak, R. Yared, T. Tessier, and P. Mabillean, "Toward pervasive computing system to enhance safety of ageing people in smart kitchen," in *ICT4AgeingWell 2015 - Proceedings of the 1st International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health*, 2015, pp. 17–28.
- [21] D. Madrzykowski, A. Hamins, and S. Mehta, "Residential Kitchen Fire Suppression Research Needs: Workshop Proceedings."
- [22] K. K. Wong and N. K. Fong, "Experimental study of induction cooker fire hazard," *Procedia Eng.*, vol. 52, pp. 13–22, 2013.
- [23] L. J. Warda and M. F. Ballesteros, "Interventions to Prevent Residential Fire Injury," *Handb. Inj. Violence Prev.*, pp. 97–115, 2005.
- [24] M. Ahrens, "Home smoke alarms: The data as context for decision," in *Fire Technology*, 2008, vol. 44, no. 4, pp. 313–327.
- [25] M. Ahrens, "Smoke Alarms in U.S. Home Fires," *NFPA*, 2011.
- [26] B. Lushaka and E. Zalok, "Development of a Sensing Device to Reduce the Risk from Kitchen Fires," *Fire Technol.*, pp. 1–13, 2012.
- [27] T. M. Fazzini, R. Perkins, and D. Grossman, "Ionization and photoelectric smoke alarms in rural Alaskan homes," *West. J. Med.*, vol. 173, no. 2, pp. 89–92, 2000.
- [28] J. R. Hall, "U.S. Experience With Sprinklers," 2013.
- [29] J. Qin, B. Yao, and W. K. Chow, "Experimental study of suppressing cooking oil fire

with water mist using a cone calorimeter,” *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 23, no. 5 SPEC.ISS., pp. 545–556, 2004.

- [30] E. Johnson, “Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 1,” 1995.
- [31] E. Johnson, “Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 2,” 1995.
- [32] E. Johnson, “Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Final Report,” 1995.
- [33] E. Johnson, “Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 3,” 1995.
- [34] A. Prakash, S. Agarwal, and N. Prakash, “Carbon Monoxide Poisoning,” *Apollo Med.*, vol. 7, no. 1, pp. 32–34, 2010.
- [35] D. G. Turner, C. J. Leman, and M. H. Jordan, “Cooking-related burn injuries in the elderly preventing the ‘granny gown’ burn,” *J Burn Care Rehabil*, vol. 10, no. 4, pp. 356–359, 1989.
- [36] P. C. Den Hertog, F. A. C. M. Blankendaal, and S. M. Ten Hag, “Burn injuries in The Netherlands,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 32, no. 3, pp. 355–364, 2000.
- [37] A. R. Ehrlich, S. Kathpalia, Y. Boyarsky, A. Schechter, and P. Bijur, “Elderly patients discharged home from the emergency department with minor burns,” *Burns*, vol. 31, no. 6, pp. 717–720, 2005.
- [38] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [39] L. A. Zadeh, “Is there a need for fuzzy logic?,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 178, no. 13, pp. 2751–2779, 2008.

- [40] T. Korol, “Fuzzy Logic in Financial Management,” in *Fuzzy Logic - Emerging Technologies and Applications*, 2012, pp. 259–286.
- [41] S. Y. Foo, “A fuzzy logic approach to fire detection in aircraft dry bays and engine compartments,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 47, no. 5, pp. 1161–1171, 2000.
- [42] M. S. Dattathreya, H. Singh, and T. Meitzler, “Detection and elimination of a potential fire in engine and battery compartments of hybrid electric vehicles,” *Adv. Fuzzy Syst.*, vol. 2012, pp. 1–11, 2012.
- [43] E. Angelini, G. di Tollo, and A. Roli, “A neural network approach for credit risk evaluation,” *Q. Rev. Econ. Financ.*, vol. 48, no. 4, pp. 733–755, 2008.
- [44] H. Abdi, “A neural network primer,” *J. Biol. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 247–283, 1994.
- [45] J. S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993.
- [46] A. Kaur and A. Kaur, “Comparison of Fuzzy Logic and NEURO Fuzzy Algorithms for Air Conditioning System,” *Int. J. soft Comput. Eng.*, no. 2, pp. 417–420, 2012.
- [47] A. K. Lohani, N. K. Goel, and K. K. S. Bhatia, “Comparative study of neural network, fuzzy logic and linear transfer function techniques in daily rainfall-runoff modelling under different input domains,” *Hydrol. Process.*, vol. 25, no. 2, pp. 175–193, Jan. 2011.
- [48] B. Pradhan and S. Pirasteh, “Comparison between prediction capabilities of neural network and fuzzy logic techniques for landslide susceptibility mapping,” *Disaster Adv.*, vol. 3, no. 2, pp. 26–34, 2010.
- [49] F. Özcan, C. D. Atış, O. Karahan, E. Uncuoğlu, and H. Tanyildizi, “Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 40, no. 9, pp. 856–863, 2009.
- [50] C. Ben Salah and M. Ouali, “Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum

power point tracker for PV systems,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 81, no. 1, pp. 43–50, Jan. 2011.

- [51] Y. Li, M. Asghar, and P. Pulii, “Visually-aided smart kitchen environment for senior citizens suffering from dementia,” *Aware. Sci. Technol. ...*, pp. 584–590, Nov. 2013.
- [52] H. Kanai, G. Tsuruma, T. Nakada, and S. Kunifuji, “Notification of dangerous situation for elderly people using visual cues,” *Proc. 13th Int. Conf. Intell. user interfaces - IUI '08*, p. 345, 2008.
- [53] H. Kanai, T. Nakada, Y. Hanba, and S. Kunifuji, “A support system for context awareness in a group home using sound cues,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare 2008, PervasiveHealth*, 2008, vol. 47, pp. 264–267.
- [54] J. van Hoof, H. S. M. Kort, P. G. S. Rutten, and M. S. H. Duijnste, “Ageing-in-place with the use of ambient intelligence technology: Perspectives of older users,” *Int. J. Med. Inform.*, vol. 80, no. 5, pp. 310–331, 2011.
- [55] H. K. Mallat, “Un système pour aider les personnes âgées en cas d ’ urgence en se servant de réseau bénévole,” *Mémoire de Maîtrise*, Université de Sherbrooke, 2016.
- [56] K. R. Krueger, R. S. Wilson, J. M. Kamenetsky, L. L. Barnes, J. L. Bienias, and D. A. Bennett, “Social Engagement and Cognitive Function in Old Age,” *Exp. Aging Res.*, vol. 35, no. 1, pp. 45–60, 2009.
- [57] J. P. García-Vázquez, M. D. Rodríguez, and Á. G. Andrade, “Design dimensions of ambient information systems to assist elderly with their activities of daily living,” *Proc. 12th ACM Int. Conf. Adjunct. Pap. Ubiquitous Comput. - Ubicomp '10*, p. 461, 2010.
- [58] K. Chen and A. H. S. Chan, “A Review of Technology Acceptance by Older Adults,” *Gerontechnology*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2011.

- [59] A. K. Bright and L. Coventry, “Assistive technology for older adults,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '13*, 2013, pp. 1–4.
- [60] L. Angelini, M. Caon, S. Carrino, L. Bergeron, N. Nyffeler, M. Jean-Mairet, and E. Mugellini, “Designing a desirable smart bracelet for older adults,” *Proc. 2013 ACM Conf. Pervasive ubiquitous Comput. Adjunct. Publ. - UbiComp '13 Adjunct.*, pp. 425–434, 2013.
- [61] British Standards Institution, “‘Occupational Health and Safety Management Systems.’ BS 8800:2004.”
- [62] British Standards Institution, “‘Managing Safety the Systems Way: Implementing OHSAS 18001.’ BS 8800:2004.”
- [63] Melexis, *MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometers in TO-39*, Rev 005. 2009.
- [64] Honeywell, “HIH-5030/5031 Series, Low Voltage Humidity Sensors,” 2010.
- [65] E. H. Mamdani, “Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis,” *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-26, no. 12, pp. 1182–1191, Dec. 1977.
- [66] J. M. Mendel, “Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial,” *Proc. IEEE*, vol. 83, no. 3, pp. 345–377, 1995.
- [67] W. Van Leekwijck and E. E. Kerre, “Defuzzification: criteria and classification,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 108, no. 2, pp. 159–178, Dec. 1999.
- [68] J. Rada-Vilela, “fuzzylite: a fuzzy logic control library.” 2014.
- [69] M. Tomitsch, K. Kappel, and A. Lehner, “Towards a taxonomy for ambient information systems,” *Proc. Work. Ambient Syst. 5th Int. Conf. Pervasive Comput.*, p. 4247, 2007.



- [70] K. Mäkelä, E.-P. Salonen, M. Turunen, J. Hakulinen, and R. Raisamo, “Conducting a Wizard of Oz Experiment on a Ubiquitous Computing System Doorman,” *Proc. Int. Work. Inf. Present. Nat. Multimodal Dialogue, 2001 115*, pp. 11–19, 2001.
- [71] a. R. Moritz and F. C. Henriques, “Studies of Thermal Injury,” *Am J Pathol*, vol. 23, pp. 695–720, 1947.